

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
Faculteit van de Wetenschappen

**HYDROGEOLOGIE EN HYDROCHEMIE
VAN DE IJZERVLAKE
TUSSEN DE FRANS - BELGISCHE GRENS
EN AVEKAPELLE - PERVIJZE
(WESTELIJKE KUSTVLAKTE)**

Ludo ZEUWTS

Deel 1 : Tekst

Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad
van Doctor in de Wetenschappen
(Aard- en Delfstofkunde)

Promotor : Prof. Dr. W. De Breuck

1991

20016

RIJSUNIVERSITEIT GENT
Faculteit van de Wetenschappen

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

**HYDROGEOLOGIE EN HYDROCHEMIE
VAN DE IJZERVLAKE
TUSSEN DE FRANS - BELGISCHE GRENS
EN AVEKAPELLE - PERVIJZE
(WESTELIJKE KUSTVLAKTE)**

Ludo ZEUWTS

Deel 1 : Tekst

**Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad
van Doctor in de Wetenschappen
(Aard- en Delfstofkunde)**

Promotor : Prof. Dr. W. De Breuck

1991

WOORD VOORAF

Bij het tot stand komen van dit proefschrift wens ik in de eerste plaats mijn promotor Prof. Dr. W. DE BREUCK te bedanken. Hij stelde mij in de gelegenheid dit onderzoek te verrichten, zowel door zijn steun aan mijn kandidatuur als bursaal bij het I.W.O.N.L., als ook door de technische mogelijkheden waarover het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie beschikt.

Prof. Dr. G. STOOPS, Prof. Dr. R. MARECHAL, Prof. Dr. J. de HEINZELIN en Prof. Dr. G. DE MOOR dank ik van harte voor het beroep dat ik mocht doen op hun laboratoria, en voor de opleiding die ze me gaven tot geoloog.

Een zeer stimulerende invloed op mijn studie had Dr. L. LEBBE, onderzoeksleider van het N.F.W.O. . De talloze verhelderende discussies met hem lagen aan de basis van een groot aantal ideeën die in deze studie zijn verwerkt.

Voor problemen in verband met de gegevensverwerking met behulp van de computer kon ik, naast Dr. L. LEBBE, steeds beroep doen op Lic. M. VAN CAMP, die altijd graag bereid was hulp te bieden, en op Lic. M. DE CEUKELAIRE, die verantwoordelijk was voor de programma's voor de verwerking van de granulometrische en hydrochemische gegevens.

Steeds kon ik rekenen op de andere collega's van het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, w.o. Lic. P. VAN BURM, Lic. E. VAN DYCK, Lic. M. MAHAUDEN, Dr. J.P. CNUDE, Dr. K. WALRAEVENS, Dr. P. JACOBS, Lic. K. PEDE, Lic. I. BOLLE, Lic. M. BUYSSE, Lic. E. PIETERS, Lic. A. DE BRUYN, Lic. M. STEYAERT, Lic. E. VANHOUTTE.

Speciale dank gaat uit naar F.T. MANHEIM van de United States Department of the Interior, Geological Survey, Branch of Atlantic Marine Geology, Woods Hole, Massachusetts. Hij gaf me de nodige kennis en informatie voor het ontwikkelen van het extractietoestel voor het hydrochemisch onderzoek van de fijnkorrelige afzettingen.

Sommige van de resultaten van deze studie zouden niet bekomen zijn zonder de medewerking van een aantal personen en instanties die de kennis aangaande hun specialiteit bereidwillig ten dienste stelden. Ik denk hierbij aan :

- Dr. C. BAETEMAN van de Belgische Geologische Dienst. Zij stelde de gegevens van haar doctoraatsstudie, alsook de resultaten van een aantal nieuwe gestoken boringen in het studiegebied tot mijn beschikking.
- Ir. G. DE COSTER en Ir. L. LIEKENS van de Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW) die mij inzage gaven in de boor- en sondeer- verslagen opgenomen in de studie voor het spaarbekken "Blankaart II".
- het Rijksinstituut voor Grondmechanica (R.I.G.) waar uitgebreid grond- onderzoek in het studiegebied kon worden geraadpleegd.
- Ir. J. DESMET van het Rijksstation voor Landbouwtechniek te Merelbeke, met wie ik een verhelderende discussie kon voeren over de afwatering in Veurne- Ambacht.
- Ir. G. VERDUYN van het Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie (I.H.E.) wiens gegevens met betrekking tot de neerslagwaterkwaliteit in het kustgebied een belangrijke steun vormden bij het hydrochemisch onderzoek.
- Dr. C. VERBRUGGEN en Lic. L. DENYS voor het uitvoeren van diatomeeën- analyses op de Subatlantische klei.

De inzet van de leden van het technisch personeel was onmisbaar bij het tot stand komen van dit proefschrift. Ik ben hiervoor dank verschuldigd aan :

- Ing. J. VANDENHEEDE en Ing. E. BEEUWSAERT, die instonden voor de organisatie van het veldwerk en wiens technische kennis ik steeds kon inroepen.
- Ing. J. BEECKMAN, die ik dank voor zijn onontbeerlijke inzet bij het verrichten van het grote aantal grondwater- en grondanalysen.
- de heren R. BOGAERT, M. GENBRUGGE, A. DE SMIJTER, A. DE PAEPE en H. DE STERCKE voor het uitvoeren van de boringen en de stijghoogte-

waarnemingen. Dhr. GENBRUGGE ben ik tevens bijzondere dank verschuldigd voor het vervaardigen van het extractietoestel.

Het bijna eindeloze tekenwerk werd met bewonderenswaardig geduld uitgevoerd door de heer F. DE LEEUW en de dames M. LACROIX en L. VAN CAUWENBERGHE .

Mevrouw G. VERMEIREN ben ik zeer erkentelijk omdat ze steeds voor mij klaar stond voor het uitvoeren van zeer veel bijkomend typwerk en administratieve verrichtingen.

Opnieuw ben ik dank verschuldigd aan Lic. P. VAN BURM en Lic. M. DE CEUKELAIRE die de afwerking van het proefschrift coördineerden nadat ik het Laboratorium reeds verlaten had.

Ik ben zeer bijzondere dank verschuldigd aan mijn huidige werkgever, Ir. H. SMET, die mij ondanks mijn drukke bezigheden bij de firma SMET-BORING N.V. steeds de nodige faciliteiten verleende om dit proefschrift alsnog tot een goed einde te brengen. Mijn collega's bij dezelfde firma wil ik bedanken voor hun nooit aflatend "gezeur" ; zonder hun aansporingen zou dit proefschrift waarschijnlijk nooit beëindigd zijn.

Tenslotte wil ik ook mijn ouders bedanken voor hun morele en daadwerkelijke steun. Zij zijn in grote mate verantwoordelijk voor de totstandkoming van dit proefschrift.

INHOUD

WOORD VOORAF	I
INHOUD	IV
1. INLEIDING	1
1.1. Doel van de studie	1
1.2. Opbouw van de studie	2
1.3. Het studiegebied : situering en fysiografie	3
1.4. Algemene opmerkingen	4
2. GEOLOGIE	5
2.1. De geologische bouw van de Kustvlakte	5
2.1.1. Het Pre-Tertiair	5
2.1.2. Het Tertiair	5
2.1.3. Het Kwartair	6
2.1.3.1. Algemeen	6
2.1.3.2. Het Pleistoceen	6
2.1.3.3. Het Holocene	9
2.1.3.3.1. Klassieke opvattingen - driedeling	9
2.1.3.3.2. Nieuwe opvattingen	13
2.2. Geologische bouw van de kwartaire lagen in de IJzervlakte	16
2.2.1. Inleiding	16
2.2.2. Gegevensverzameling	16
2.2.2.1. Bestaande gegevens	16
2.2.2.1.1. Boringen en sonderingen	16
2.2.2.1.2. Kaarten	18
2.2.2.2. Aanvullend terreinwerk en laboratoriumonderzoek	18
2.2.2.2.1. Boringen	18
2.2.2.2.2. Geofysische boorgatmetingen	20
2.2.2.2.3. Waterpassing	22
2.2.2.2.4. Granulometrie	22
2.2.2.2.4.1. Algemeen	22
2.2.2.2.4.2. Methoden	22
2.2.2.2.4.3. Resultaten van het granulometrisch onderzoek	23
2.2.2.2.4.3.1. Algemeen	23

2.2.2.2.4.3.2. Korrelverdeling	24
2.2.2.2.4.3.3. Kumulatieve kurven	24
2.2.2.2.4.3.4. Karakteristieke grootheden	25
2.2.2.2.4.3.5. Doorlatendheid	26
2.2.2.2.4.3.6. Hydrolitologische profielen	26
2.2.2.2.4.3.7. Statistische verwerking van de resultaten	27
2.2.2.2.4.3.8. Naamgeving van de grondsoorten	27
2.2.3. Geologische eenheden in de IJzervlakte	28
2.2.3.1. Algemeen	28
2.2.3.2. De laag T	29
2.2.3.3. De laag K1 (K1,1 ; K1,2)	29
2.2.3.4. De laag K2 (K2,1 ; K2,2 ; K2,3)	30
2.2.3.5. De laag K3	33
2.2.3.6. De laag K4	33
2.2.3.7. De laag K5 (K5,1 ; K5,2)	35
2.2.3.8. De laag K6 (K6,1 ; K6,2)	35
2.2.3.9. De laag K7	36
2.2.3.10. De laag K8 (K8,1 ; K8,2,1 ; K8,2,2 ; K8,3 ; K8,4)	37
2.2.3.11. De laag K9	49
2.2.3.12. De laag K10	49
2.2.4. Geologische beschrijving per deelgebied	53
2.2.4.1. Kaarten en doorsneden	53
2.2.4.1.1. Doorsneden	53
2.2.4.1.2. Kaarten	54
2.2.4.2. Deelgebied 1 : de IJzervlakte in de omgeving van Avekapelle - Pervijze	54
2.2.4.3. Deelgebied 2 : de IJzervlakte in de omgeving van Oudekapelle	58
2.2.4.4. Deelgebied 3 : de IJzervlakte in de omgeving van Noordschote	62
2.2.4.5. Deelgebied 4 : de smalle IJzervlakte ten zuiden van Lo	64
2.2.4.6. Deelgebied 5 : de smalle IJzervlakte stroomopwaarts van Pollinkhove	65
2.2.4.7. Deelgebied 6 : de overdekt pleistocene gronden ten zuiden van de IJzer en ten westen van de Kemmelbeek	67
2.2.4.8. Syntese van de verspreiding van de verschillende litologische eenheden	69
2.2.5. Kronostratigrafische beschouwingen	70

3. POMPPROEVEN	76
3.1. Inleiding	76
3.2. Definities	76
3.2.1. De doorlatendheid k	76
3.2.2. Transmissiviteit of doorlaatvermogen kD	76
3.2.3. De hydraulische weerstand c	77
3.2.4. De elastische bergingscoëfficiënt S	77
3.2.5. De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel S_0	78
3.3. Interpretatie van pompproefgegevens met behulp van een numeriek model	78
3.3.1. Algemeen	78
3.3.2. Het numeriek model "SIMTES"	79
3.3.3. Het invers model "INPURE"	80
3.4. De dubbele pompproef in de Avekapellekreek	82
3.4.1. Geologische gesteldheid op de plaats van de pompproef	82
3.4.2. Voorbereiding en uitvoering van de dubbele pompproef	83
3.4.3. Schematisering van het grondwaterreservoir in het numeriek model	84
3.4.4. Interpretatie van de pompproefgegevens	84
3.4.4.1. Interpretatie met het numeriek model	84
3.4.4.2. Interpretatie met het invers model "INPURE"	90
3.5. De pompproef in de IJzerkreek	99
3.5.1. Geologische gesteldheid op de plaats van de pompproef	99
3.5.2. Voorbereiding en uitvoering van de pompproef	100
3.5.3. Schematisering van het grondwaterreservoir in het numeriek model	101
3.5.4. Interpretatie van de pompproefgegevens	101
3.5.4.1. Interpretatie met het model "SIMTES"	101
3.5.4.2. Interpretatie met het invers model "INPURE"	102
4. STIJGHOOGTEWAARNEMINGEN	110
4.1. Algemeen	110
4.2. Factoren die de stijghoogte beïnvloeden	111
4.2.1. Algemeen	111
4.2.2. Natuurlijke invloeden op de stijghoogte	111
4.2.3. Kunstmatige invloeden op de stijghoogte	115
4.2.3.1. Grondwaterwinning	115
4.2.3.2. Oppervlaktewaterbeheersing	116
4.2.3.2.1. Algemeen	116
4.2.3.2.2. De Noordwatering van Veurne-Ambacht	116

4.3. Het stijghoogtemeetnet	119
4.4. Zoetwaterstijghoogten	120
4.5. Stijghoogtevariaties	122
4.5.1. Algemeen stijghoogteverloop	122
4.5.1.1. Tijd - stijghoogtelijnen	122
4.5.1.2. Metingen	122
4.5.1.3. Interpretatie van de meetresultaten	123
4.5.2. Gemiddelde zoetwaterstijghoogten	126
4.5.3. Minimale en maximale stijghoogten	129
4.6. Het regionaal grondwaterstromingspatroon	131
4.6.1. Hydro-isohypsenkaarten	131
4.6.2. Het regionaal grondwaterstromingspatroon te Avekapelle-Pervijze	132
4.6.2.1. De gemiddelde toestand	132
4.6.2.2. De seizoenvariaties	133
4.6.2.3. De toestand in droge perioden	134
5. HYDROCHEMIE	137
5.1. Inleiding	137
5.2. Voormalig hydrochemisch onderzoek	138
5.3. Methoden aangewend bij het eigen kwaliteitsonderzoek	138
5.4. Factoren die de grondwaterkwaliteit bepalen	140
5.4.1. Algemeen	140
5.4.2. Processen die de samenstelling van het ondiepe grondwater bepalen	141
5.4.3. Processen die de samenstelling van het diepere grondwater bepalen	145
5.4.3.1. Kationuitwisseling	146
5.4.3.2. Sulfaatreductie	148
5.5. Grondwaterkwaliteit in de zandige kreekgebieden	149
5.5.1. Verspreiding van zoet en zout grondwater afgeleid uit boorgatmetingen	149
5.5.1.1. Teoretische achtergrond	149
5.5.1.1.1. Algemeen	149
5.5.1.1.2. Resistiviteit van het gesteente (formatieresistiviteit)	149
5.5.1.1.3. Resistiviteit van de poriënvloeistof	150
5.5.1.1.4. Verband tussen de formatieresistiviteit en de resistiviteit van het poriënwater : de formatiefactor F	151
5.5.1.2. Methode	152
5.5.1.2.1. Principe	152
5.5.1.2.2. Apparatuur	152

5.5.1.3. Toepassing in het grondwaterkwaliteitsonderzoek	153
5.5.1.4. Metingen	155
5.5.1.5. Bepaling van het zoetwaterpercentage van het grondwater steunend op de gemeten resistiviteiten	155
5.5.1.5.1. Afleiding van de gemiddelde formatiefactor	155
5.5.1.5.2. Afleiding van de zoetwaterpercentages	159
5.5.1.6. De zoet-zoutwater verdeling in de zandige kreek sedimenten	160
5.5.1.6.1. Algemeen	160
5.5.1.6.2. De zoet-zout water verdeling in de Avekapellekreek	161
5.5.1.6.3. De zoet-zout water verdeling in de IJzerkreek	163
5.5.2. Chemische samenstelling van het grondwater afgeleid uit de analyse van waterstalen	165
5.5.2.1. Algemeen	165
5.5.2.2. Monsternamen van de onderzochte grondwaters	165
5.5.2.3. Analyse van de watermonsters	166
5.5.2.4. Het gegevensbestand	167
5.5.2.5. Verwerking van de analyseresultaten	168
5.5.2.5.1. Klassifikatie van de grondwaterstalen volgens STUYFZAND	168
5.5.2.5.1.1. Algemeen	168
5.5.2.5.1.2. Klassifikatiesysteem	168
5.5.2.5.1.2.1. Hoofdtype	169
5.5.2.5.1.2.2. Hardheidscode	169
5.5.2.5.1.2.3. Type	170
5.5.2.5.1.2.4. Kationuitwisselingscode	171
5.5.2.5.2. Aangepaste concentraties volgens STUYFZAND	172
5.5.2.5.3. Statistische verwerking van de analyseresultaten	173
5.5.2.5.4. Kaarten en doorsneden	173
5.5.2.5.5. Grafische verwerking van de analyseresultaten	174
5.5.2.6. Watertypes volgens STUYFZAND in de kreekgebieden	175
5.5.2.6.1. Algemeen	175
5.5.2.6.2. Toepassing op de kreekgebieden	175
5.5.2.6.2.1. Verdeling van de watertypes in een vertikaal vlak	175
5.5.2.6.2.2. Ruimtelijke verspreiding van de watertypes	178
5.5.2.6.2.2.1. Watertypes in de topzone van de kreek sedimenten	179
5.5.2.6.2.2.2. Watertypes in de basiszone van de kreek sedimenten	179
5.5.2.6.2.3. Evolutie van het grondwater in de kreekgebieden	181
5.5.2.7. Hydrochemie van het grondwater in de kreekgebieden	182
5.5.2.7.1. Algemeen	182

5.5.2.8.2.3. Het verband tussen ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) en Ca^+	245
5.5.2.8.2.4. Het verband tussen ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) en Mg^+	245
5.5.2.8.2.5. Het verband tussen ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) en ($\text{Ca}^+ + \text{Mg}^+$)	245
5.5.2.8.2.6. Het verband tussen Ca^+ en Mg^+	246
5.5.2.8.2.7. Het verband tussen SO_4^+ en HCO_3	246
5.5.2.8.2.8. Het verband tussen SO_4^+ en NH_4	247
5.5.2.8.2.9. Het verband tussen SO_4^+ en PO_4	247
5.5.2.8.3. Piperdiagrammen	248
5.5.2.8.3.1. Algemeen	248
5.5.2.8.3.2. Piperdiagram van het globale analysebestand	248
5.5.2.8.3.3. Piperdiagram van de zoete waters	250
5.5.2.8.3.4. Piperdiagram van de zoet-brakke waters	250
5.5.2.8.3.5. Piperdiagram van de brakke waters	251
5.5.2.8.3.6. Piperdiagram van de brak-zoute waters	251
5.5.2.8.3.7. Piperdiagram van de zoute waters	251
5.6. Grondwaterkwaliteit in de fijnkorrelige poelgebieden	253
5.6.1. Problemen bij het kwaliteitsonderzoek in fijnkorrelige sedimenten	253
5.6.2. Extraktie van poriënwaters door uitoefening van druk	254
5.6.2.1. Algemeen	254
5.6.2.2. Extraktiepers	255
5.6.2.3. Mogelijke foutenbronnen	257
5.6.2.3.1. Invloed van druk op de poriënwatersamenstelling	257
5.6.2.3.2. Invloed van de temperatuur	259
5.6.2.3.3. Besluit	261
5.6.2.4. Praktische uitvoering	263
5.6.2.4.1. Monsternamen	263
5.6.2.4.2. Bewaring van grondstalen	264
5.6.2.4.3. Het uitpersen van de grondstalen	265
5.6.2.4.4. Bewaring van de poriënwaters	267
5.6.2.4.5. Chemische analyse van de uitgeperste poriënwaters	267
5.6.3. Resultaten	268
5.6.4. Hydrochemie van het grondwater in de fijnkorrelige poelgebieden	269
5.6.4.1. Boorgatmetingen	269
5.6.4.1.1. Algemeen	269
5.6.4.1.2. Variatie van de schijnbare formatiefactor F_a met de poriënwaterkwaliteit	271
5.6.4.1.3. Vertaling van de formatieresistiviteit naar totaal zoutgehalte	273
5.6.4.1.4. Afleiding van de zoetwaterpercentages	276

5.6.4.1.5. Controle van de juistheid van de nieuw opgestelde relatie	277
5.6.4.1.6. De zoet-zout water verdeling in de fijnkorrelige poelgebieden	278
5.6.4.1.6.1. De IJzervlakte te Avekapelle-Pervijze	278
5.6.4.1.6.2. De IJzervlakte te Driekapelle-Noordschote	279
5.6.4.1.6.3. De IJzervallei stroomopwaarts van Pollinkhove	281
5.6.4.1.6.4. Besluit	282
5.6.4.2. Chemische samenstelling van het grondwater in de poelgebieden afgeleid uit de analyse van waterstalen	283
5.6.4.2.1. Algemeen	283
5.6.4.2.2. Hydrochemie van het grondwater in de poelgebieden	284
5.6.4.2.2.1. Zoet grondwater	284
5.6.4.2.2.2. Zoet-brak grondwater	287
5.6.4.2.2.3. Brak grondwater	289
5.6.4.2.2.4. Brak-zout grondwater	292
5.6.4.2.2.4.1. Matig brak-zout grondwater (TDS < 6400 mg/l)	292
5.6.4.2.2.4.2. Sterk brak-zout grondwater (TDS > 6400 mg/l)	296
5.6.4.2.2.5. Zout grondwater	301
5.6.4.2.2.6. Besluit	303
5.6.4.2.3. Voorkomen van de verschillende grondwaterkwaliteiten	304
5.6.4.2.3.1. Algemeen	304
5.6.4.2.3.2. De IJzervlakte te Avekapelle-Pervijze	304
5.6.4.2.3.3. De IJzervlakte te Driekapelle-Noordschote	306
5.6.4.2.3.4. De IJzervlakte te Elzendamme	307
5.6.4.2.3.5. De IJzervlakte te Stavele	314
5.6.4.2.3.6. De IJzervlakte te Roesbrugge	315
5.6.4.2.3.7. De IJzervlakte te Haringe	315
5.6.4.2.3.8. Gradient in zoutgehalte met afstand tot de zee	316
5.6.4.2.4. Evolutie van de grondwaterkwaliteit in de fijnkorrelige poelgebieden van de IJzervlakte	317
5.6.4.2.4.1. Algemeen	317
5.6.4.2.4.2. Evolutie van de grondwaterkwaliteit te Elzendamme	318
5.6.4.2.4.3. Evolutie van de grondwaterkwaliteit tussen Elzendamme en de Frans-Belgische grens	321
5.6.4.2.4.4. Evolutie van de grondwaterkwaliteit te Noordschote	322
5.6.4.2.4.5. De IJzervlakte te Avekapelle-Pervijze	324

6. MATEMATISCH MODEL	327
6.1. Inleiding	327
6.2. Teoretische achtergronden van het model van KONIKOW & BREDEHOEFT	327
6.3. Het modelgebied	329
6.4. Simulatie van het ontstaan van de zoetwaterlens in de Avekapellekreek	330
6.4.1. Algemeen	330
6.4.2. Invoergegevens	330
6.4.2.1. Horizontale doorlatendheid	330
6.4.2.2. Anisotropie	332
6.4.2.3. Dispersiecoëfficiënt	332
6.4.2.4. Porositeit	333
6.4.2.5. Aantal deeltjes per cel bij aanvang	333
6.4.2.6. Tijdstap	334
6.4.3. Randvoorwaarden	334
6.4.4. Vorming van de zoetwaterlens	337
6.4.4.1. Beschouwde evolutiestadia en korresponderende randvoorwaarden	337
6.4.4.2. Resultaten	339
6.4.4.2.1. Algemeen	339
6.4.4.2.2. Grondwaterstroming	339
6.4.4.2.3. Grondwaterkwaliteit	341
6.4.4.3. Vergelijking met de op het terrein waargenomen kwaliteitsverdeling	343
6.5. Invloed van een algemene verlaging van het grondwaterpeil op de kwaliteitsverdeling	344
6.5.1. Algemeen	344
6.5.2. Randvoorwaarden en invoergegevens	344
6.5.3. Resultaten	346
6.5.3.1. Toestand met afwateringskanalen en weinig doorlatende poelgebieden	346
6.5.3.2. Toestand met afwateringskanalen en doorlatende poelgebieden	347
6.5.3.3. Toestand zonder afwateringskanalen en weinig doorlatende poelgebieden	348
6.5.3.4. Toestand zonder afwateringskanalen en doorlatende poelgebieden	349
6.5.3.5. Besluit	350

6.6. Verwijdering van het zoute basiswater in de kreekgebieden door pumping en infiltratie	350
6.6.1. Algemeen	350
6.6.2. Winning van zoet grondwater in een kreekgebied zonder bijkomende maatregelen	351
6.6.2.1. Randvoorwaarden en invoergegevens	351
6.6.2.2. Resultaten	352
6.6.3. Winning van zoet grondwater in een kreekgebied na verwijdering van het zoute water aan de basis van de kreeksedimenten	353
6.6.3.1. Algemeen	353
6.6.3.2. Randvoorwaarden en invoergegevens	353
6.6.3.3. Resultaten	355
6.7. Kunstmatige vorming van een zoetwatervoorraad in de poelgronden	356
6.7.1. Algemeen	356
6.7.2. Opbouw van de simulatiedoorsnede, randvoorwaarden en invoergegevens	356
6.7.3. Evolutie van de grondwaterkwaliteit na de definitieve terugtrekking van de zee	357
6.7.4. Verwijdering van het zoute grondwater in kreek- en poelgebied	358
6.7.4.1. Algemeen	358
6.7.4.2. Randvoorwaarden en invoergegevens	358
6.7.4.3. Resultaten	359
7. ALGEMEEN BESLUIT	360
REFERENTIES	368

1. INLEIDING

1.1. Doel van de studie

Gedurende de laatste tien jaar vormt de Belgische Kustvlakte het onderwerp van een aantal gedetailleerde hydrogeologische studies, uitgevoerd door het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie van de Rijksuniversiteit Gent. Het onderzoek ving aan met de verziltingskaart van de Belgische Kustvlakte van W. DE BREUCK et al. (1974) en werd verdergezet door L. LEBBE (1978, 1981, 1983, 1986), J. DEVOS (1984), I. BOLLE (1983), E. VAN HOUTTE (1984), M. DEVOS (1985) en L. VANDEWALLE (1986).

In deze studies werd vooral aandacht besteed aan zeewaarts gelegen gebieden : het strand en de duinen van Adinkerke-De Panne, de Belgische Moeren en het duingebied nabij De Haan. In de meeste gevallen werd het onderzoek in hoofdzaak toegespitst op de hydrogeologie van het zoete water in de duinen ; slechts in de studie van de Belgische Moeren werden de achterliggende lage polders meer uitgebreid bestudeerd. De eigenlijke polders in de landwaarts gelegen regio's van de Westelijke Kustvlakte werden echter nooit aan een gedetailleerd onderzoek onderworpen.

Ook elders verricht onderzoek heeft nooit bijgedragen tot een grondige kennis van de hydrogeologie van de Westelijke Kustvlakte. De weinige studies die dit deel van de Kustvlakte als onderwerp hebben zijn vooral litologisch gericht en hebben dan nog enkel betrekking op de ondiepe lagen.

Als gevolg hiervan is de Westelijke Kustvlakte nog een weinig gekend gebied, zowel op litologisch als op hydrogeologisch vlak. Van de opbouw van de diepere kwartaire lagen, d.w.z. de formaties beneden 5 m diepte, is nog weinig geweten. De hydraulische parameters van de zandige kreek sedimenten zijn niet gekend en de grondwaterstroming in de kreekgebieden en de poelgebieden is nooit eenduidig vastgelegd.

De verdeling van zoet en zout water in de Kustvlakte kan worden afgeleid uit de verziltingskaart van DE BREUCK et al. (1974) ; de kaart toont de zoetwaterlenzen in de kreekruigen en het zoute en brakke water nabij de watertafel in de laaggelegen poelgebieden. Hoe de grondwaterkwaliteit is geëvolueerd na de definitieve terugtrekking van de zee uit de Kustvlakte en welke chemische veranderingen dit tot gevolg heeft gehad zijn evenwel nog open vragen. Aan de chemische

samenstelling van het grondwater in de weinig doorlatende poelgebieden is trouwens nooit enige aandacht besteed.

Het in het bestek van deze doctoraatsverhandeling uitgevoerde onderzoek tracht de kennis aangaande de Westelijke Kustvlakte te vergroten en dit zowel op litologisch als op hydrogeologisch vlak. Hierbij wordt er naar gestreefd een algemeen inzicht te verkrijgen in de opbouw en de evolutie van een belangrijk deel van de Westelijke Kustvlakte, met name de IJzervlakte.

1.2. Opbouw van de studie

Allereerst wordt in hoofdstuk 2 aandacht besteed aan de litologische bouw van het bestudeerde gebied. Een aantal algemene litologische eenheden worden onderscheiden en de granulometrische kenmerken van de zandige kreek-sedimenten worden bestudeerd. Vervolgens wordt de met de afstand tot de zee variërende opbouw van de Kustvlakte benadrukt door de bespreking van een aantal deelgebieden.

De hydraulische parameters van de zandige kreek-sedimenten maken het onderwerp uit van hoofdstuk 3. Ze worden afgeleid met behulp van pompproeven.

In hoofdstuk 4 wordt, aan de hand van stijghoogtemetingen en peilmetingen op de belangrijkste oppervlaktewaters, het grondwaterstromingspatroon in een zorgvuldig gekozen testgebied bepaald. Hierbij wordt aandacht besteed aan de wisselwerking tussen kreekgebieden en poelgebieden en wordt het kunstmatige afwateringssysteem in rekening gebracht.

De grondwaterkwaliteit (hoofdstuk 5) wordt bestudeerd met behulp van geofysische boorgatmetingen en chemische analyses van grondwaterstalen. Met de eerste methode wordt de verdeling van zoet en zout water in het studiegebied in kaart gebracht ; de grondwateranalyses leveren informatie over de chemische samenstelling van het grondwater en laten toe de evolutie welke het grondwater heeft ondergaan te achterhalen. Hierbij wordt niet enkel aandacht besteed aan de doorlatende lagen, doch wordt ook het poriënwater in de weinig doorlatende sedimenten bij het onderzoek betrokken. Met het oog hierop werd een toestel

ontwikkeld om representatieve grondwaterstalen te verkrijgen uit fijnkorrelige sedimenten.

In hoofdstuk 6 wordt, rekening houdend met de op het terrein verzamelde gegevens, de grondwaterstroming en de evolutie van de grondwaterkwaliteitsverdeling gesimuleerd met behulp van een mathematisch model. Het aan de terreinwaarnemingen getoetste model wordt aangewend voor de simulatie van de invloed van kunstmatige ingrepen op het hydrogeologische systeem. Gelet op het vaak optredende watertekort in de Kustvlakte, vooral tijdens het zomerseizoen, wordt nagegaan of een beperkte grondwaterwinning in het studiegebied mogelijk is.

1.3. Het studiegebied : situering en fysiografie

Het studiegebied omvat de IJzervlakte, welke in de literatuur vaak is omschreven als de "IJzergolf" of "Golf van Lo". Het studiegebied is niet vast omlijnd ; in zijn ruime zin stemt het overeen met het deel van de Westelijke Kustvlakte tussen de Frans-Belgische grens en Avekapelle-Pervijze.

Het beschouwde gebied is weergegeven op plaat 1.1 ; het omvat het deel van de Kustvlakte dat gelegen is op de NGI-kaartbladen Kapelhoek (19/7), Hoogstade (19/8), Lampernisse (20/1), Diksmuide (20/2), Lo (20/5) en Langemark (20/6).

Fysiografisch is het gebied begrensd door de zandleemstreek in het zuiden en het oosten en het Plateau van Izenberge in het noorden en het westen. De overgang van de zandleemstreek naar de polders van de Kustvlakte geschiedt vaak via een overgangszone van "overdekt pleistocene gronden".

De polders in de IJzervlakte behoren voor het grootste deel tot het Oudland ; het gebied ten oosten van de Oude Zeedijk (lopend vanaf Oudekapelle naar Wulpen, over Lampernisse, Zoutenaai en Avekapelle) maakt deel uit van het Middelland. In de polders kan een onderscheid worden gemaakt tussen de kreekgebieden met zandige opvulling enerzijds en de iets lager gelegen klei-op-veengronden of poelgebieden anderzijds. Het maaiveld ter hoogte van de kreekgebieden is gesitueerd op het peil +3,5 tot +5 ; de poelgebieden liggen op het peil +2,5 tot +4. Het maaiveld is algemeen het hoogst gelegen in het zuidelijk deel van het studiegebied.

Het grondwaterpeil wordt kunstmatig beheerst door middel van een systeem van grachten en sloten, die op de drogere kreekgebieden veel ruimer gespatieerd zijn als in de lager gelegen, vochtige poelgebieden.

1.4. Algemene opmerkingen

In het kader van deze studie werd het eigenlijke hydrogeologische onderzoek (pompproeven en stijghoogtemetingen) in hoofdzaak toegespitst op de kreekgebieden met zandige opvulling. Zoals zal blijken uit hoofdstuk 2 vormen zij de enige uitgebreide doorlatende lagen in de IJzervlakte. In deze kreekgebieden werden dan ook de meeste waarnemingen verricht.

Bij het hydrochemisch onderzoek werd daarentegen veel aandacht besteed aan de poelgebieden daar deze interessante informatie leveren over de evolutie van de grondwaterkwaliteit in de loop van de geologische ontwikkelingsgeschiedenis.

In de tekst wordt veelvuldig gebruik gemaakt van de termen kreekgebieden en poelgebieden. De kreekgebieden vertegenwoordigen de kreekruggronden van de Bodemkaart. Het zijn oude getijdegeulen gekenmerkt door een in hoofdzaak zandige opvulling.

De poelgebieden in deze studie worden gevormd door de poelgronden en de overdekt-pleistocene gronden van de Bodemkaart.

2 GEOLOGIE

2.1. De geologische bouw van de Kustvlakte

2.1.1. Het Pre - Tertiair

De paleozoische gesteenten in het kustgebied behoren tot het Massief van Brabant. Volgens de isohypsenkaart van R. LEGRAND (1968) helt de top van de sokkel in de richting N20°E met een helling van 0,75%. Hij wordt bereikt op ca. -207^(*) te Diksmuide en ca. -230 te Stuyvekenskerke. De gesteenten bestaan uit grijze tot groengrijze leistenen van het Cambrium, welke aan de top verweerd zijn tot rode klei.

De sokkel wordt diskordant bedekt door lagen van het Krijt, van boven naar onder achtereenvolgens wit krijt, groene glaukoniethoudende mergel en glaukoniethoudende, kalkrijke zandstenen. Deze lagen, welke in hoofdzaak behoren tot het Senoon, vertonen een globale dikte van 40 m ; hun top ligt tussen de peilen -140 en -160.

2.1.2. Het Tertiair

Op het Mesozoïcum rust overal in de Kustvlakte de Formatie van Landen^(**) (Landeniaan), bestaande uit grijs fijn zand en klei. Deze helt met 0,5% in de richting N25°E en ligt in het zuiden van het studiegebied (Roesbrugge) op het peil -109, in het noorden op het peil -120. De totale dikte ervan bedraagt ca. 50 m.

De Formatie van Ieper omvat onderaan het Lid van Vlaanderen (Yc op de Geologische Kaart), bestaande uit grijze, homogene klei, waarvan de dikte onder de Kustvlakte gemiddeld 145 m bedraagt . In de Westelijke Kustvlakte vormt deze klei overal de top van het Tertiair (MARECHAL e.a., 1964) ; de laag is er aangesneden door de basis van het Kwartair.

(*) Alle peilen zijn aangegeven t.o.v. het referentievlak van de Tweede Algemene Waterpassing (T.A.W.) van het Nationaal Geografisch Instituut (NGI).

(**) Voor de naamgeving van de tertiaire eenheden is gesteund op het IGCP-124 (Subgroep Litostratigrafie en Kaarten) (IGCP-124, 1980).

2.1.3. Het Kwartair

2.1.3.1. Algemeen

Gedurende het Kwartair heeft de Kustvlakte een opeenvolging van overstromingen en verlandingen gekend, gekenmerkt door de afzetting van zand-, leem-, klei- en veenlagen, afgewisseld met periodes van erosie. Om de in het studiegebied waargenomen eenheden te situeren in de kontekst van de Kustvlakte, wordt een overzicht gegeven van de heersende opvattingen betreffende de kwartaire ontwikkeling en litostratigrafische opbouw.

2.1.3.2. Het Pleistoceen

Bepalend voor de evolutie gedurende het Pleistoceen is de opeenvolging van glaciale en interglaciale perioden die aanleiding gaven tot een afwisseling van insnijdings- en opvullingsfasen. De opvatting dat de diepste insnijding van de Kustvlakte plaatsgreep gedurende de Saale-ijstijd kent reeds lang een grote aanhang. Recent wordt echter een pre-Holsteiniaan of zelfs een pre-Cromeriaan uitschuring niet uitgesloten, dit wegens het voorkomen van sedimenten van hogergenoemde interglacialen in de nabijheid van de IJzervallei (PAEPE & VANHOORNE, 1975 ; PAEPE e.a., 1976 en 1981 ; SOMME e.a., 1978). In die periode zou zich tussen Sangatte en Oostende een grote baai hebben gevormd (PAEPE & BAETEMAN, 1979).

Deze midden-pleistocene afzettingen, aangeduid als de Formatie van Herzelee, omvatten in de typelokaliteit (briqueterie d'Herzelee) van onder naar boven respectievelijk glaukoniethoudende, middelmatig tot grove, kruisgelaagde zanden, een veenlaagje met ligniet (Lo Peat Member), een klei-leem-komplex met verspreide schelpen en tenslotte grijsgroene fijne zanden met talrijke mariene schelpen, vooral Cardium edule (Izenberge Crag Member), die naar boven toe overgaan in een kleilaag (SOMME e.a., 1978). De sedimenten stemmen overeen met drie mariene fasen ; de zanden met Cardium edule vertegenwoordigen de maximale mariene invloed.

De Cardium-zanden en het veen zijn eveneens waargenomen te Lo en op het Plateau van Izenberge (RUTOT, 1897 ; TAVERNIER & DE HEINZELIN, 1962 ; VANHOORNE, 1962). Op basis van recent pollenonderzoek zijn de eenheden vanaf

het veen ondergebracht in de zones Ho IIc, Ho IIIa en Ho IIIb van het Holsteiniaan, de glaukoniethoudende basiszanden in het Laat-Cromeriaan, waarschijnlijk het Cromeriaan s.s. of het Pastoniaan (SOMME e.a., 1978).

Het voorkomen van vergelijkbare afzettingsgesteenten in de eigenlijke Kustvlakte, en meer bepaald in de IJzervlakte, werd door recent onderzoek aangetoond (BAETEMAN, 1981). Ten zuiden van Diksmuide en ten zuidoosten van de IJzer wordt een bleekblauwe tot grijze leemhoudende klei met talrijke schelpen aangetroffen, ten noorden en ten oosten van het Plateau van Izenberge groen kleihoudend zand. Beide sedimenten zijn gekenmerkt door de aanwezigheid van Cardium edule. De kleileem is te vervolgen tot buiten de kustvlakte, waar de Holsteiniaan-ouderdom ervan werd bevestigd (PONNIAH, 1977).

Ten oosten van de lijn Oostende-Gistel werden geen sedimenten van het Elster-Saale-interglaciaal aangetroffen (PAEPE & BAETEMAN, 1979). Recent wordt door sommige auteurs de aanwezigheid van de Formatie van Herzele in de overgangszone tussen de Oostelijke Kustvlakte en de Vlaamse Vallei evenwel niet langer uitgesloten (PAEPE e.a., 1981).

Gedurende de Saale-ijstijd was de Kustvlakte onderhevig aan een belangrijke insnijding. De Oostelijke Kustvlakte en de Vlaamse Vallei vormden in die periode aansluitende, noordwaarts gerichte thalwegsystemen die behoorden tot eenzelfde stroombekken (DE MOOR & HEYSE, 1974). In dit gebied zouden volgens deze auteurs de Afzetting van Zoetendale (grint en grof kwartszand) en de Afzetting van Adegem (glaukoniethoudend fijn tot middelmatig zand) uit het Saaliaan dateren. In de streek rond Brugge zijn homogene, grijsgroene zanden uit deze glaciële periode aangetroffen (PAEPE, VANHOORNE & DERAYMAKER, 1972).

Het hierop volgende interglaciaal, het Eemiaan, was gekenmerkt door een belangrijke mariene en fluviatiele sedimentatie. De kustlijn zou zich toen ten oosten van Oostende hebben bevonden, met een landinwaartse uitbreiding via de Vlaamse Vallei (PAEPE & BAETEMAN, 1979). In de IJzervlakte worden dan ook geen Eemiaanafzettingen waargenomen. In het uiterste westen van de Kustvlakte, in de Moeren, is het Eem-interglaciaal vertegenwoordigd door een middelmatig tot grof zand, voorkomend onder het peil -17. De pollenassociatie is deze van het Laat-Eemiaan (DENYS e.a., 1983).

In de Oostelijke Kustvlakte worden de diepe mariene afzettingen tot deze periode gerekend : assise van Oostende (TAVERNIER, 1946), zone van Oostende (TAVERNIER, 1947), afzetting van Oostende (DE BREUCK, DE MOOR & MARECHAL, 1969). Ze omvatten twee grintrijke niveaus, gescheiden door fijn tot middelmatig zand.

Langs het Afleidingskanaal van de Leie, tussen Damme en Zomergem, worden vier sedimentaire eenheden onderscheiden, met name het grintrijke niveau van de Afzetting van Kaprijke, de homogene zanden van de Afzetting van Moerkerke, het kleileemfacies van de Afzetting van Meetkerke en het leemfacies van de Afzetting van Oostwinkel ; deze laatste is een fluviatiele afzetting (DE MOOR & HEYSE, 1974). De Afzetting van Moerkerke is waarschijnlijk te korreleren met de Afzetting van Uitkerke van DE BREUCK, DE MOOR & MARECHAL (1969) in hun profiel tussen Blankenberge en Varsenare. De twee eerstgenoemde eenheden worden eveneens aangetroffen in de streek rond Zeebrugge (DEPRET, 1981).

Talrijke auteurs hebben aangetoond dat Eemiaansedimenten vaak dicht tegen het oppervlak voorkomen. Dit is ondermeer het geval tussen Jabbeke en Gistel (PAEPE, 1971), te Meetkerke (PAEPE & VANHOORNE, 1972 ; DE MOOR & DE BREUCK, 1973) en rond Brugge (PAEPE, VANHOORNE & DERAYMAKER, 1972).

Gedurende het Weichselglaciaal trad opnieuw een belangrijke zeespiegelverlaging op, waardoor het zuidelijk Noordzeebekken droog kwam te liggen. Uit die periode dateren de niveo-eolische en niveo-fluviatiele afzettingen die thans de top uitmaken van de pleistocene sedimenten.

In de Westelijke Kustvlakte worden afzettingen uit het Weichseliaan enkel aangetroffen in het gebied ten noorden en ten westen van Leke en ten westen van Keiem (BAETEMAN, 1981). Het betreft grijsbruine leemhoudende zanden met aan de top een bodemprofiel. Dit facies is, nog steeds volgens BAETEMAN, te vergelijken met de door PAEPE (1972) beschreven dekzanden in het gebied rond Jabbeke-Gistel. Pollenonderzoek laat toe deze zanden in het Weichsel-Pleniglaciaal te plaatsen.

In het Oostelijk Kustgebied is de aanwezigheid van Weichselafzettingen meermaals aangetoond (TAVERNIER, 1947 ; DE BREUCK, DE MOOR & MARECHAL, 1969 ; PAEPE, 1971 ; PAEPE & VANHOORNE, 1972 ; PAEPE, VANHOORNE &

DERAYMAKER, 1972 ; DE MOOR & DE BREUCK, 1973 ; DE MOOR & HEYSE, 1974 ; MOSTAERT 1980 en 1986 ; DEPRET, 1981 ; DEVOS, 1984).

Tot deze periode rekende TAVERNIER (1947) de zone van Leffinge, bestaande uit zand-, leem, veen en grintlagen.

In een litologische doorsnede tussen Varsenare en Blankenberge wordt onderaan de Afzetting van Uitkerke, bovenaan de Afzetting van Wenduine onderscheiden (DE BREUCK, DE MOOR & MARECHAL, 1969). Vooral de laatstgenoemde grintrijke afzetting zou volgens deze auteurs een grote stratigrafische betekenis hebben. Op basis van een C^{14} - datering van de schelpen in deze laag (11.349 ± 364 j B.P.) wordt de Afzetting van Wenduine ondergebracht in het Tardiglaciaal. De Weichseliaan-ouderdom van eerstgenoemde afzetting wordt in een latere publikatie verworpen (DE MOOR & HEYSE, 1974) ; volgens deze auteurs behoort de Afzetting van Uitkerke tot het Eemiaan.

Tussen Damme en Moerkerke wordt de Afzetting van Damme, met aan de basis de zone van Platheule, aangetroffen; tussen Moerkerke en Zomergem de Afzetting van Ronsele en de Afzetting van Eeklo (DE MOOR & HEYSE, 1974). Deze sedimenten blijken te zijn afgezet na een relatief belangrijke insnijdingsfase (post-Meetkerke) die optrad na de zeespiegeldaling in het begin van het Weichseliaan.

De zone van Platheule is volgens DE MOOR & HEYSE te korreleren met de Afzetting van Wenduine van DE BREUCK, DE MOOR & MARECHAL (1969). Dit niveau kan, samen met de Afzetting van Damme en de Afzetting van Eeklo, worden vervolgd tot Zeebrugge (Afzetting van Zeebrugge, DEPRET, 1981) en De Haan (DEVOS, 1984).

2.1.3.3. Het Holoceen

2.1.3.3.1. Klassieke opvattingen - driedeling

Het Holoceen manifesteerde zich in een eerste fase door het verdwijnen van de permafrost. Daar de zeespiegel zich nog op een laag niveau bevond werden tijdens het Preboreaal diepe en nauwe valleien uitgeschuurd die in het studiegebied sterk vertakt waren (MARECHAL, 1954). Gedurende het Boreaal werd in deze valleien het zg. "veen op grote diepte" of "basisveen" gevormd. Dit veen, dat gedeeltelijk van

Atlantische ouderdom zou zijn (STOCKMANS & VANHOORNE, 1954 ; AMERIJCKX, 1960), is in de Belgische Kustvlakte evenwel van ondergeschikt belang (MOORMANN, 1951 ; TAVERNIER & AMERIJCKX, 1970 ; BAETEMAN, 1978).

Te Avekapelle is het basisveen aanwezig op het peil -7 ; de C^{14} - ouderdom ervan bedraagt 7155 ± 270 j B.P. (BAETEMAN & VERBRUGGEN, 1979). Te Adinkerke wordt tussen de peilen -17 en -27 een veenhoudend klei-leem-komplex aangetroffen met een typisch boraal pollenspectrum. Een C^{14} - datering van een monster uit deze laag leverde een ouderdom van 7795 ± 130 j B.P. op (DENIJS e.a., 1983). Tussen Damme en Zomergem is de Afzetting van Burkel, behorend tot het Tardiglaciaal of het Vroeg-Holoceen (DE MOOR & HEYSE, 1974), waarschijnlijk met het basisveen te korreleren.

Vooraf belangrijk voor de evolutie van de Kustvlakte gedurende de holocene periode was de flandriaan-transgressie die aanleiding gaf tot de opvulling van de Kustvlakte met mariene sedimenten. Zowel de Afzetting van Calais als de Afzetting van Duinkerke zouden het gevolg zijn van eenzelfde continue zeespiegelrijzing tijdens het Flandriaan (PAEPE e.a., 1976).

Tijdens het Atlanticum (8000-5000 j B.P.) werd het Nauw van Calais verbreed en was de Kustvlakte, volgens vele auteurs, onderhevig aan een voornamelijk zandige sedimentatie (TAVERNIER, 1943 en 1947 ; TAVERNIER & MOORMANN, 1954). MARECHAL (1954) onderscheidt in de Westelijke Kustvlakte een marien facies (blauwe zandhoudende klei met aan de basis meer zandhoudende lagen) ten noorden van Lampernisse en een fluviatiel facies (zandhoudende en kleihoudende sedimenten met veeninterkallaties) in het zuidelijk deel van de IJzervlakte.

In tegenstelling tot deze oudere opvattingen, die de Afzetting van Calais beschouwden als één sedimentatiepakket, wordt in meer recente studies steeds nadrukkelijker gewezen op het voorkomen van verschillende fasen in het Atlanticum, gekenmerkt door een afwisseling van klastische en organische lagen (BAETEMAN, LAMBRECHTS & PAEPE, 1974 ; BAETEMAN, 1978 ; BAETEMAN & VERBRUGGEN, 1979). De tussenliggende veenlagen zijn niet ontstaan tijdens regressies, maar in perioden gekenmerkt door een vermindering van de directe mariene invloed (BAETEMAN & VERBRUGGEN, 1979 ; BAETEMAN, 1981).

De afzettingmilieus waren tijdens het Atlanticum niet overal dezelfde (BAETEMAN, 1978 en 1981). In het uiterste westen van het Belgische Kustgebied (LEBBE, 1973 en 1978), alsook langs de kust komen uitsluitend zandige sedimenten voor. In het gebied ten westen van de IJzer en in de randzone van de Kustvlakte is vooral een blauwgrijze klei met verschillende veenlagen aanwezig. Het zandig facies bevindt er zich onder het peil -8.

Recent wordt de aanwezigheid van de Afzetting van Calais in de IJzervlakte ten zuiden van Lo evenwel niet meer aanvaard (PAEPE & BAETEMAN, 1979 ; BAETEMAN, 1981).

In het Oostelijk Kustgebied is de Afzetting van Calais tussen Varsenare en Blankenberge vooral vertegenwoordigd door het zandig facies (DE BREUCK, DE MOOR & MARECHAL, 1969) ; tussen De Haan en Wenduine is eveneens het kleilig facies aanwezig (DEVOS, 1984). Te Zeebrugge zijn de afzettingen van het Atlanticum beperkt tot een dunne laag blauwe leemhoudende klei (max. 0,65 m), of zijn zelfs volledig afwezig (DEPRET, 1981). Dit is in overeenstemming met de waarnemingen tussen Moerkerke en Damme (DE MOOR & HEYSE, 1974) en te Brugge (MOSTAERT, 1980 en 1986), waar het oppervlakteveen rechtstreeks rust op pleistocene sedimenten.

Op het einde van het Atlanticum werd voor de toenmalige Kustvlakte een duinengordel gevormd, die de Kustvlakte beschermde tegen de zee. Achter de Oude Duinen (MOORMANN & AMERIJCKX, 1950) kwam vooral tijdens het Subboreaal (5000-2900 j B.P.) een belangrijke, continue veenlaag tot ontwikkeling : het oppervlakteveen, het Hollandveen of het veen van Nieuwmunster.

De veengroei ving nagenoeg overal tussen 4500 en 4800 j B.P. aan. ; het einde van de veengroei vond algemeen rond 3200 j B.P. plaats (BAETEMAN & VERBRUGGEN, 1979). Te Booitshoeke en te Lampernisse is de top van het veen gedateerd op 2000 j B.P., wat aangeeft dat plaatselijk de veengroei doorging tot in het Subatlanticum.

Tijdens de laatste periode van het Holoceen, het Subatlanticum (2900 j B.P. tot heden) was de Kustvlakte onderhevig aan meerdere transgressiefasen met mariene sedimentatie- (de Duinkerke 0, 1, 2, 3A en 3B - transgressies) en verlandingsfasen.

De D 0- en de D 1-transgressies (respektievelijk 1500-1000 j v.C. en 500 j v.C.-100 j n.C.) kenden slechts een lokale uitbreiding. De D 1-transgressie was vooral van belang voor het centraal en het oostelijk gedeelte van de Kustvlakte waar afzettingen tot bijna 10 km achter de huidige kustlijn worden aangetroffen (THOEN, 1978). In deze periode zou zich eveneens een inbraakgebied tussen Koksijde en Wulpen hebben bevonden (AMERIJCKX, 1959).

Tijdens de Romeinse regressie (100-268 j n.C.) ontwikkelde zich een duinengordel waarvan de Binnenduinen van Bredene, Klemskerke en Vlissegem de overblijfselen zouden zijn (AMERIJCKX, 1961). De verlanding die plaatsgreep achter deze duinen wordt aangetoond door een begroeiingshorizont of, zoals te Wulpen, door een veenlaagje aan de top van de D 1-sedimenten (MOORMANN, 1951 ; AMERIJCKX, 1959 ; TAVERNIER & AMERIJCKX, 1970), evenals door nederzettingen uit de Romeinse tijd (THOEN, 1978).

De eerste overstromingen van de D 2-transgressie zouden zich hebben voorgedaan in de tweede helft van de 3^e eeuw na Christus (THOEN, 1978). De beschermende duinengordel werd op verschillende plaatsen doorbroken. Aldus ontstonden belangrijke inbraakgebieden van waaruit een vertakt systeem van kreken de Kustvlakte binnendrong en het veenoppervlak erodeerde (TAVERNIER & AMERIJCKX, 1970). Na deze erosiefase trad selektieve sedimentatie op. In de geulen, waar de grootste stroomsnelheden heersten, werd zand afgezet ; op de veenplaten, die slechts bij vloed werden overstroomd, kwam klei tot bezinking (TAVERNIER, 1947).

Tijdens de Karolingische regressie (8^e - 9^e eeuw n.C.) werd een nieuwe duinengordel (de jonge duinen) gevormd die de Kustvlakte van de zee afsloot.

De D 3-transgressie (11^e - 12^e eeuw n.C.) breidde zich in hoofdzaak uit langs de inbraakgebieden van het IJzerestuarium en van het Zwin (AMERIJCKX, 1959). Van hieruit ontwikkelde zich een systeem van getijdegeulen met talrijke kleine vertakkingen (TAVERNIER & AMERIJCKX, 1970). De sedimentatie was vooral kleilig ; soms werd zand in de geulen afgezet. Deze werden vaak slechts gedeeltelijk opgevuld en zijn thans nog zichtbaar als zwakke depressies in het landschap. Ter bescherming van de bewoning, die zich op de D 2-sedimenten had ontwikkeld, werden dijken opgericht (o.a. de Oude Zeedijk en de dijk van de Watering van Blankenberge).

Op het einde van het Holocene voltrok zich de reliefsinversie. Door de droogmaking van het landschap vertoonden de veenplaten een belangrijke inklinking ; de zandige kreken bleven daarentegen nagenoeg op hetzelfde niveau. Door die selectieve inklinking kwamen de oorspronkelijk hoger gelegen klei-op-veen-eilanden lager te liggen dan de kreken, die thans als langgerekte rugen in het relief kunnen waargenomen worden (TAVERNIER, 1947 ; AMERIJCKX, 1959).

2.1.3.3.2. Nieuwe opvattingen

In recente studies, uitgevoerd in de Westelijke Kustvlakte, wordt afgestapt van de klassieke tripartitie, waarin Calais en Duinkerke worden beschouwd als transgressieve fasen, gescheiden door het oppervlakteveen dat dateert van een hoofdzakelijk regressieperiode.

In de oudere literatuur werden reeds een aantal waarnemingen aangehaald die niet in dit eenvoudige schema konden worden ingepast. Door TAVERNIER & MOORMANN (1954) werd opgemerkt dat het geleidelijke voortschrijden van het oppervlakteveen over de pleistocene sedimenten enkel kon verklaard worden door een stijging van het grondwaterpeil ten gevolge van een zeespiegelrijzing. Ook PAEPE (1960) en BAETEMAN & VERBRUGGEN (1979) veronderstelden een geleidelijke verhoging van het grondwaterpeil in die periode.

Andere auteurs wezen op het voorkomen van meerdere verlandingsfasen met veengroei in de Calais-transgressie (TAVERNIER & MOORMANN, 1954 ; BAETEMAN, LAMBRECHTS & PAEPE, 1974 ; BAETEMAN & VERBRUGGEN, 1979). Bovendien vertonen de Atlantische sedimenten van plaats tot plaats grote verschillen in litologische samenstelling (MOORMANN, 1951 ; BAETEMAN, 1978 ; PAEPE & BAETEMAN, 1979).

BAETEMAN (1981) benadrukt in haar doctoraatsverhandeling dat de litologische samenstelling van de sedimenten in de Kustvlakte in grote mate bepaald wordt door het heersend afzettingsmilieu, dat kan variëren met de morfologische positie. De aard van de klastische sedimenten wordt sterk beïnvloed door lokale factoren. Klastische sedimentatie nabij de kust kan samengaan met veenvorming in het achterland. Veranderingen in intensiteit van de directe mariene invloed in de loop

van de ontwikkelingsgeschiedenis kunnen laterale verschuivingen tussen milieus veroorzaken.

Eenzelfde transgressie is niet altijd overal even belangrijk en kan van plaats tot plaats een verschillende sedimentatie veroorzaken. Gedurende een transgressie kunnen laterale verschuivingen van milieus optreden.

Dit indachtig, werd door BAETEMAN (1981) de paleografische evolutie van de Westelijke Kustvlakte verklaard uitgaande van diverse afzettingmilieus (lagunair facies, wadfacies, geulenfacies). In dit nieuwe schema is vooral de aanwezigheid van getijdegeulen van primordiaal belang voor de evolutie van de Kustvlakte. Gedurende de hele ontwikkelingsgeschiedenis (Atlanticum tot Subatlanticum) zouden zij verantwoordelijk zijn geweest voor de landwaartse uitbreiding van de directe mariene invloed. De geulen gaven, in hun onmiddellijke omgeving, aanleiding tot de vorming van een breed waddengebied dat aldus ver landinwaarts kon doordringen. De stelling dat de geulen slechts zouden dateren van het Subatlanticum wordt verworpen.

De getijdegeulen zouden steeds gevrijwaard gebleven zijn van veengroei. Zelfs tijdens de vorming van het oppervlakteveen konden ze door de verdere stijging van het zeeniveau nog verder het achterland binnendringen. Ook aan de geulranden handhaafde zich het waddengebied en kwam geen veen tot ontwikkeling.

Belangrijke geulen in het Westelijk Kustgebied waren de Avekapellegeul, de Bulskampgeul en de Spermaliegeul. Misschien vormden de geulen oorspronkelijk bestaande pre-holocene fluviatiele dalen, die ten gevolge van de stijgende zeespiegel als eerste werden ingenomen.

Voor de Avekapellegeul zou een grote betekenis hebben gekend. Langs deze geul zou de IJzer een uitweg gevonden hebben naar de zee om uit te monden in het gebied ten noorden van Veurne. Deze geul zou evenwel in de periode na 2000 j B.P. haar betekenis hebben verloren ten gunste van de nieuwe benedenloop van de IJzer die zich ontwikkelde in de Spermaliegeul.

De litologische diversiteit van de Atlantische sedimenten wordt door BAETEMAN (1981) uitgelegd door de uiteenlopende afzettingmilieus te beschouwen die heersten in de verschillende gebieden van de Kustvlakte. Langs de kust en in het uiterste

westen van het kustgebied, waar bijna uitsluitend zandige sedimenten worden aangetroffen, zou zich een wadden- en zandwaddengebied hebben ingesteld. In het laatste geval was dit te wijten aan de steile helling van het Pleistoceen. In het achterland, aan de grens met het pleistoceen gebied, ontstonden ten gevolge van de stijging van het grondwaterpeil ondiepe lagunes waarin klei sedimenteerde.

Het voorkomen van een veenlaag met een relatief grote laterale verspreiding in de Atlantische sedimenten zou te wijten zijn aan een uitbreiding van de sedimentatiezone tussen 6300 en 5600 j B.P., waardoor de directe mariene invloed geringer werd. Tevens zou de zeespiegel minder snel gestegen zijn ; duinvorming wordt evenmin uitgesloten. In deze omstandigheden kon dan als gevolg van het opslibben van de lagunes veengroei starten. In latere stadia kon zeer plaatselijk nog veengroei optreden door een lokale, snelle opslibbing van de lagunes.

Vermits BAETEMAN aanneemt dat in de IJzervlakte ten oosten van Lo het oppervlakteveen rechtstreeks op de pleistocene sedimenten rust zou dit gebied voor de veengroei niet onder de mariene invloed lag.

De periode na 3300 j B.P. zou in een eerste fase gekenmerkt geweest zijn door een lagunair milieu dat kon ontstaan als gevolg van een snelle stijging van het grondwaterpeil. Hierdoor werd de veenaccumulatie vervangen door de afzetting van sterk organisch klei. In een volgend stadium werd door een nieuwe invasie van de zee (2300-2800 j B.P.) een wadden- en zandwaddengebied gevormd.

2.2. Geologische bouw van de kwartaire lagen in de IJzervlakte

2.2.1. Inleiding

Bij de studie van de geologische bouw van de IJzervlakte dient een duidelijk onderscheid te worden gemaakt tussen de kreekgebieden enerzijds en de poelgebieden anderzijds. De poelgebieden vormen het grootste deel van de IJzervlakte en zijn nagenoeg uitsluitend samengesteld uit fijnkorrelige, weinig doorlatende sedimenten (klei, leem, veen) van het Pleistoceen tot het Subatlanticum. De kreekgebieden zijn in hoofdzaak zandig. Ze vormen smalle stroken die de poelgebieden volgens een grillig patroon doorsnijden. Ze stemmen overeen met de Subatlantische krekken uit de literatuur en de getijdegeulen van BAETEMAN (par. 2.1.3.3.2.).

De laterale uitbreiding van de kreekgebieden en de poelgebieden is weergegeven op een zoneringskaart (plaat 2.1.), welke werd afgeleid van de bodemkaart. Voor de poelgebieden wordt een onderscheid gemaakt tussen "overdekt atlantische en subboreale gronden" enerzijds en "overdekt pleistocene gronden" anderzijds. Het krekensysteem wordt verdeeld in de Avekapellekreek, de IJzerekreek en de overgangszone tussen beide krekken.

2.2.2. Gegevensverzameling

2.2.2.1. Bestaande gegevens

2.2.2.1.1. Boringen en sonderingen

Teneinde een algemene voorkennis over de geologische opbouw van het studiegebied te verwerven werden de bestaande puntwaarnemingen verzameld. Diepgaande studies in de Westelijke Kustvlakte, en vooral dan in de IJzervlakte bleken evenwel schaars. Het onderzoek in het kustgebied situeerde zich vooral in de Oostelijke Kustvlakte of bleef beperkt tot de duingebieden met de aangrenzende polders. De weinige studies met betrekking tot het onderzochte gebied waren vooral gericht op de kennis van de oppervlakkige lagen.

Het voorkomen van brak en zout grondwater in de ondergrond van het studiegebied maakte dat het vaak, ten onrechte, als hydrogeologisch onbelangrijk

werd beschouwd. Het geringe aantal kunstwerken in de Kustvlakte en het ontbreken van industrieterreinen draagt daarenboven zeker niet bij tot het vergroten van het gegevensbestand.

De verzamelde geologische waarnemingen betroffen, naast schaarse analyses van grondstalen, hoofdzakelijk boor- en/of sondeerverslagen. Deze werden gevonden in de archieven van het Geologisch Instituut (Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie), van de Belgische Geologische Dienst en van het Rijksinstituut voor Grondmechanica, of werden verstrekt door de Vlaamse Maatschappij voor Waterbedeling. Bovendien kon worden gerekend op de welwillendheid van C. BAETEMAN (Geologische Dienst), die de boorverslagen aangewend voor haar doctoraatsverhandeling alsook een aantal recent door de Geologische Dienst uitgevoerde gestoken boringen ter beschikking stelde.

De inventaris bevatte aldus 718 puntwaarnemingen bestaande uit 431 boringen en 287 sonderingen. De eerste omvatten handboringen, mechanische boringen met inspoeling, mechanische droge boringen en gestoken boringen. De tweede betreffen handsonderingen en diepsonderingen.

Niet alle waarnemingen van dit ogenschijnlijk toch belangrijke aantal waren echter even waardevol. Een groot aantal boringen dateren van de opname van de Geologische Kaart op het einde van de vorige eeuw ; ze reiken, net als de overige handboringen, weinig diep (max. 5m). Slechts een beperkt aantal boringen bereiken een diepte van meer dan 10 m ; de meeste ervan zijn diepe boringen tot in het Landenian of in het Paleozoicum. De informatie over de kwartaire sedimenten in dergelijke boorverslagen is zeer beperkt.

De sondeergrafieken daarentegen sneden meestal wel het ganse kwartaire dek aan. Een gedetailleerde litostratigrafische interpretatie op basis van sondeergegevens is, zeker in de complexe kwartaire afzettingen, echter moeilijk. Het belang van de sonderingen dient dan ook enkel te worden gezocht in de diktebepaling van het kwartaire dek.

De ligging van de gegevens is voorgesteld op de documentatiekaart (plaat 2.2.a.). Ze zijn weergegeven d.m.v. een aantal symbolen in gebruik op het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, welke de aard van de waarneming alsook van de uitgevoerde proeven aanduiden. Een beknopte lijst van de aangewende gegevens is opgenomen in bijlage 1.

2.2.2.1.2. Kaarten

Naast de Geologische Kaart van België en de Bodemkaart van België konden een aantal kaarten, opgemaakt in het bestek van enkele studies in het Westelijk Kustgebied, worden geraadpleegd :

- een geologische overzichtskaart van de streek Lo-Diksmuide (schaal 1/20.000), door MARECHAL (1948) ; hierop zijn het verloop van de boreale valleien en van de kreekkruggen, alsook de diepte van de basis van het veen als belangrijkste elementen weergegeven.
- een diktekaart van het Jong-Kwartair, opgenomen in het bestek van de Survey van West-Vlaanderen (MARECHAL e.a., 1964).
- diverse kaarten door BAETEMAN (1981) in het kader van een doctoraats-verhandeling ; het betreft een (weinig gedetailleerde) algemene zoneringskaart, enkele isohypsenkaarten van de top van de pleistocene afzettingen (schaal 1/25.000) en diverse paleografische kaarten (schaal 1/100.000).

2.2.2.2. Aanvullend terreinwerk en laboratoriumonderzoek

2.2.2.2.1. Boringen

De interpretatie van de beschikbare geologische puntwaarnemingen leverde geen gedetailleerd inzicht in de litologische bouw van de IJzervlakte. Vooral de samenstelling van de diepere kwartaire lagen bleef slecht gekend. Teneinde de kennis van deze lagen te verruimen werden 118 boringen uitgevoerd, waarvan er 92 reikten tot de basis van het Kwartair.

Het eigenlijke hydrogeologische onderzoek werd in hoofdzaak toegespitst op de kreekgebieden ; in deze gronden werden de meeste boringen geslagen. Twee kreekgebieden kregen ruime aandacht, de IJzerkreek en de Avekapellekreek.

Het litologisch onderzoek werd echter ook vanuit een ruimer oogpunt benaderd. Naast hydrogeologische karakterisering van de lagen werd getracht de algemene geologische kennis van het gebied te vergroten. Met het oog hierop werden de poelgebieden die de kreekgebieden omringen bij het onderzoek betrokken. De eigen boringen in deze gronden werden vooral uitgevoerd in het gebied rond de IJzer, tussen de Frans-Belgische grens en Diksmuide.

De ligging van de boringen is voorgesteld op de plaat 2.2.b. .

De boringen gebeurden tijdens drie veldkampagnes, augustus-oktober 1985, maart-mei 1986 en september-oktober 1986. De laatste campagne was er vooral op gericht hiaten in het onderzoek op te vullen.

De meeste boringen werden uitgevoerd met inspoeling. Deze methode werd boven droge boring verkozen, enerzijds wegens de snelheid van uitvoering en anderzijds wegens de eenvoud waarmee een "grote" diepte kon worden bereikt. De geringere nauwkeurigheid van de boorbeschrijving werd gecompenseerd door het verrichten van geofysische boorgatmetingen (par. 2.2.2.2.).

Twee spoeltechnieken werden aangewend, een mechanische en een manuele. Bij de mechanische boringen werd gebruik gemaakt van een elektrisch aangedreven draaiboortoestel, met inspoeling van een organische modderbrij (FLOGGEL). Deze verstevigde tevens het boorgat, wat met het oog op de boorgatmetingen noodzakelijk was. Het boortoestel was voorzien van een gesloten pompcircuit ; de boormodder werd, na afscheiding van de opgespoelde grond, opnieuw aangewend. Grondstalen werden continu verzameld nabij de plaats van opspoeling. De indringingssnelheid van de boorbeitel werd genoteerd.

De minder diepe boringen (meestal minder dan 15 m) werden uitgevoerd met behulp van een manuele spoelmethode, waarbij de boorbeitel met behulp van verlengstukken (3 m) werd neergelaten. Het spoelwater, aangewend bij deze boringen betrof meestal helder gracht- of plaswater. In de meeste gevallen kon de werking met een gesloten circuit worden vermeden ; de hele booroperatie werd in deze gevallen met zuiver water voltooid. Dit, het feit dat telkens na het aanboren van een nieuwe formatie het boorgat volledig werd schoongespoeld en het feit dat litologische veranderingen manueel konden worden aanvoeld, verhoogden aanzienlijk de kwaliteit van de boorbeschrijving.

Met het oog op het verzamelen van grondstalen voor laboratoriumonderzoek werden 16 droge boringen uitgevoerd. Hiervoor was een kabelboortoestel, voorzien van slag - en draaiboorapparatuur, beschikbaar. In consistente sedimenten zoals klei, stijve leem of veen werd gebruik gemaakt van een spiraalboor. In zandige afzettingen diende het boorgat te worden voorzien van metalen voerbuizen. In dit geval werd het boorgat uitgediept met de puls. Iedere 0,25 of 0,50 m werden grondstalen verzameld.

Bij alle boormethoden werd de grond ter plaatse nauwkeurig beschreven. Allereerst werd de aard van de grondsoort (zand, leem, klei, veen) bepaald ; in het geval van zand werd een verder onderscheid gemaakt tussen fijn, middelmatig en grof zand. Verder werd aandacht besteed aan de kleur (natte monsters), de textuur, de plasticiteit, de biogene bestanddelen (schelpen), de aard en het gehalte van de bijmenging (klei/leem -, veen - en/of zandgehalte), de hoeveelheid, aard en afmetingen van de grintbestanddelen en, indien aanwezig, het glauconietgehalte.

2.2.2.2. Geofysische boorgatmetingen

Boorbeschrijvingen verricht aan de hand van boringen met inspoeling zijn gesteund op verstoorde grondstalen die, afhankelijk van de dikte van de doorboorde lagen, zijn samengesteld uit een mengsel van verschillende grond-soorten. Het gehalte aan nevenbestanddelen in een zandpakket wordt vaak gemaskeerd door de boormodder. De grondstalen worden steeds met een zekere vertraging verzameld, nl. de tijd nodig voor het opspoelen van het materiaal. Deze tijdsspanne is groter naarmate de boring een grotere diepte bereikt. De juiste diepte van de grensvlakken tussen de doorboorde formaties is bijgevolg niet altijd even duidelijk.

Alhoewel een uitgebreide ervaring met spoelboringen toelaat een degelijke boorbeschrijving op te stellen is de uitvoering van boorgatmetingen een noodzaak. Het verrichten van geofysische boorgatmetingen bestaat in het neerlaten van meetsondes in het boorgat, waarbij fysische parameters worden gemeten. Deze parameters vormen objectieve criteria waaraan de boorbeschrijvingen kunnen worden getoetst.

In het bestek van deze studie werden vijf grootheden opgetekend : de registratie van de boorgatdiameter, de spontane potentiaal, de elektrische puntweerstand en de

natuurlijke gamma-straling gebeurde met behulp van een OYO-GEOLOGGER-3400. De gemeten waarden werden rechtstreeks grafisch weergegeven, zodat een snelle visuele interpretatie en vergelijking op het terrein kon worden doorgevoerd.

De opname van de formatieresistiviteit gebeurde manueel met twee verschillende sondes, de lange normale sonde (LN) en de korte normale sonde (SN). Beide meetsondes zijn voorzien van twee ring-elektroden (diameter 32 mm en breedte 5 mm) op een onderlinge afstand van respectievelijk 1,0 en 0,25 m. De sondes worden neergelaten in het boorgat en bij ophaling wordt de resistiviteitswaarde gemeten om de 0,25 m.

Het principe van de verschillende boorgatmetingen is voorgesteld op de figuren 2.1. tot 2.5. . Voor een gedetailleerde beschrijving van de boorgatmetingen wordt verwezen naar de literatuur.

De interpretatie van de boorgatmetingen wordt des te nauwkeuriger indien de diverse meetstaten niet afzonderlijk, doch in combinatie met elkaar worden aangewend. Niet alle gemeten parameters zijn echter van even groot belang bij een litologische interpretatie. De opname van de variaties in boorgatdiameter en vooral van de natuurlijke gamma-straling leveren de meeste informatie over de litologische samenstelling van de doorboorde lagen. Veenlagen (geen γ -uitwijking), zandlagen (geringe γ -uitwijking), leemlagen (matige tot hoge γ -uitwijking) en kleilagen (zeer hoge γ -uitwijking) kunnen via de gamma-log eenduidig worden bepaald ; de grensvlakken worden zeer scherp aangegeven.

De opname van de formatieresistiviteit is vooral van belang voor het grondwaterkwaliteitsonderzoek. Deze metingen worden verder besproken in hoofdstuk 5.

Het vergelijken van de geofysische boorgatmetingen met de veldinterpretaties liet toe definitieve boorverslagen op te stellen. Ze zijn opgenomen in bijlage 2 .

2.2.2.2.3. Waterpassing

Een nauwkeurige korrelatie van afzonderlijke puntwaarnemingen in doorsneden en kaarten is slechts mogelijk indien ze worden opgenomen ten opzichte van eenzelfde referentie-vlak. Met het oog hierop werd het maaiveld ter plaatse van de boringen aangesloten op de Tweede Algemene Waterpassing (T.A.W.) van het Nationaal Geografisch Instituut (NGI). Dit gebeurde ten overstaan van hoogtemerktekens in het studiegebied.

Er werd gewerkt met een toestel NK2 van WILD en een meetbaken van 3 m. Er werd enkel uitgerukt bij gunstige weersomstandigheden. De waterpassing werd meermaals gesloten, waarbij een fout van minder dan 1 cm nog toelaatbaar werd geacht.

De maaiveldhoogten staan vermeld op de overeenkomstige boorverslagen in bijlage 2.

2.2.2.2.4. Granulometrie

2.2.2.2.4.1. Algemeen

Teneinde de veldinterpretaties te toetsen en de zandige sedimenten meer gedetailleerd te karakteriseren werden de voornaamste kwartaire formaties in het studiegebied aan een granulometrisch onderzoek onderworpen. Dit omvatte de bepaling van de korrelverdeling, het kalk- en het humusgehalte. In het bestek van deze hydrogeologische studie werden 112 grondstalen onderzocht, waarvan er 83 betrekking hebben op de zandige kreeksedimenten en 29 op de fijnkorrelige poelgebieden.

2.2.2.2.4.2. Methoden

De granulometrische analyse van de grondstalen gebeurde volgens de methoden in gebruik op het Geologisch Instituut van de RUG :

- het kalkgehalte wordt afgeleid uit de reactie van het aanwezige CaCO_3 met HCl , waarbij de toename in gasdruk (CO_2) wordt gemeten met een calcimeter ;
- de bepaling van de organische koolstof gebeurt met de methode van WALKLEY & BLACK die een redoxtitratie met $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ omvat. Het humusgehalte wordt verkregen door de vermenigvuldiging van de organische koolstof met 2 ;
- de korrelfractie begrepen tussen $2000\ \mu\text{m}$ en $50\ \mu\text{m}$ wordt verder verdeeld d.m.v. Tyler-zeven ;
- de verschillende frakties $< 50\ \mu\text{m}$ worden onderscheiden met behulp van de pipetmethode van KOHN, welke gesteund is op de wet van Stokes.

Voor een uitvoerige beschrijving van de aangewende methoden wordt verwezen naar DEPRET (1981). Een aantal opmerkingen dienen evenwel te worden gemaakt :

- het geringe belang van de fractie $> 2000\ \mu\text{m}$ (meestal $< 1\%$) maakte een verdere kwantificering van de samenstellende bestanddelen (o.a. schelpen en schelpfragmenten, silexstukjes,...) overbodig. De grintfractie werd enkel onderworpen aan een visueel onderzoek.
- het humusgehalte en het kalkgehalte werden bepaald op de fractie $< 2000\ \mu\text{m}$. Het gehalte van beide bestanddelen in de grintfractie werd niet in rekening gebracht.

2.2.2.2.4.3. Resultaten van het granulometrisch onderzoek

2.2.2.2.4.3.1. Algemeen

Alle gegevens van het granulometrisch onderzoek werden verwerkt met een TULIP Personal Computer, voorzien van plotter en printer. Uit de korrelverdeling worden een reeks karakteristieke grootheden berekend, terwijl, met behulp van diverse formules, de doorlatendheid wordt afgeleid. Met behulp van de plotter worden de resultaten grafisch voorgesteld onder de vorm van kumulatieve kurven en hydrolitologische profielen.

In wat volgt worden de diverse grootheden en de grafische voorstellingswijzen besproken. De granulometrische karakteristieken van de diverse formaties worden uiteengezet in paragraaf 2.2.3. .

2.2.2.2.4.3.2. Korrelverdeling

In het bestek van deze studie werd gebruik gemaakt van de korrelverdelingsklassen aangewend op het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie ; deze zijn overgenomen uit het Typebestek 150 van het Ministerie van Openbare Werken.

Er worden 6 (of 7) frakties onderscheiden, met d de gemiddelde korreldiameter :

fraktie I	:	$d < 2 \mu\text{m}$
fraktie II	:	$2 \mu\text{m} < d < 60 \mu\text{m}$
fraktie III	:	$60 \mu\text{m} < d < 200 \mu\text{m}$
fraktie IV	:	$200 \mu\text{m} < d < 2000 \mu\text{m}$
fraktie V	:	$2 \text{ mm} < d < 20 \text{ mm}$
fraktie VI	:	$d > 20 \text{ mm}$
(fraktie IIa	:	$2 \mu\text{m} < d < 20 \mu\text{m}$)

De som van de frakties I en II, de frakties III en IV en de frakties V en VI vertegenwoordigen respectievelijk het klei- en leemgehalte, het zandgehalte en het grintgehalte van het grondstaal.

2.2.2.2.4.3.3. Kumulatieve kurven

Kumulatieve kurven worden verkregen door het aandeel (in percent) van de totale massa grover (of fijner) dan een bepaalde korrelgrootte uit te zetten ten opzichte van de in abscis voorgestelde overeenkomstige korrelgrootten. Hierbij wordt de grintfraktie niet in rekening gebracht ; de som van de klei-, leem- en zandfraktie wordt gelijk aan 100% beschouwd.

De kumulatieve kurven van de onderzochte litostratigrafische eenheden worden besproken in paragraaf 2.2.3. .

2.2.2.4.3.4. Karakteristieke grootheden

De belangrijkste uit de korrelverdeling afgeleide karakteristieke grootheden zijn :

- de mediaan of gemiddelde korreldiameter, uitgedrukt in μm (d_{50}) of in ϕ -eenheden (ϕ_{50}) ; dit is de korreldiameter die overeenstemt met de ordinaat van 50% van de kumulatieve kurve. Dit betekent dat, in gewicht uitgedrukt, de helft van de korrels een diameter hebben groter, en de andere helft een diameter kleiner dan de gemiddelde korreldiameter.
- de gelijkvormigheidsgraad d_{10}/d_{60} , waarbij d_{10} en d_{60} analoog als d_{50} worden gedefinieerd. Eerstgenoemde wordt aangeduid als de actieve korreldiameter.
- de globale grafische standaardafwijking σ_i , welke een maat is voor de sortering van het materiaal. σ_i wordt gegeven door :

$$\sigma_i = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

FOLK & WARD (1957) onderscheiden 7 sorteringsklassen :

$\sigma_i < 0,35$	zeer goed gesorteerd
$0,35 < \sigma_i < 0,50$	goed gesorteerd
$0,50 < \sigma_i < 0,71$	middelmatig goed gesorteerd
$0,71 < \sigma_i < 1,00$	middelmatig gesorteerd
$1,00 < \sigma_i < 2,00$	slecht gesorteerd
$2,00 < \sigma_i < 4,00$	zeer slecht gesorteerd
$\sigma_i < 4,00$	uitermate slecht gesorteerd

- de specifieke oppervlakte, gegeven door :

$$U_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot P_i / 100$$

Hierin is U_i de specifieke oppervlakte van de i -de korrelgroottefractie, P_i is het gewichtspercentage van deze fractie.

U_i wordt gegeven door :

$$U_i = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_{i-1}} \right)$$

met d_i en d_{i-1} respectievelijk de bovengrens en de ondergrens (in cm) van het i -de korrelgrootte-interval.

Andere berekende karakteristieke grootheden zijn het grafisch gemiddelde M_z , de globale grafische asymmetrie S_{ki} en de grafische kurtosis K_g . Eerstgenoemde grootheid levert informatie over de gemiddelde korreldiameter, beide laatstgenoemde grootheden over de vorm van de kumulatieve kurve.

2.2.2.2.4.3.5. Doorlatendheid

De doorlatendheid k kan met behulp van diverse empirische vergelijkingen worden afgeleid uit de korrelverdeling. Meestal leggen deze formules een verband tussen de doorlatendheid en één welbepaalde grootheid van de korrelverdeling. Veel gebruikte grootheden in dit verband zijn de actieve korreldiameter d_{10} , de mediaan d_{50} en de specifieke oppervlakte U .

Het dient onderstreept dat de k -waarden die aldus verkregen worden slechts een zeer ruwe benadering zijn. De doorlatendheid wordt in belangrijke mate bepaald door de eigenschappen van de afzetting. Vermits het granulometrisch onderzoek wordt uitgevoerd op verstoorde en geroerde grondstalen, komen deze eigenschappen waaronder structuur, anisotropie en graad van kompaktie niet tot uiting in de korrelverdeling. Nauwkeurige k -waarden worden slechts verkregen door een in situ bepaling, met behulp van pompproeven.

2.2.2.2.4.3.6. Hydrolitologische profielen

De resultaten van het granulometrisch onderzoek kunnen op een eenvoudige wijze worden samengevat door het opstellen van hydrolitologische profielen (LEBBE, 1978). Hierin worden de korrelverdeling (ϕ -schaal), het grintgehalte, het gehalte aan deeltjes $< 60 \mu m$, de doorlatendheid, de specifieke oppervlakte en de globale grafische standaardafwijking voorgesteld in functie van de diepte, naast de overeenstemmende boorstaat. Deze parameters kunnen worden weergegeven per grondstaal of per diepte-interval waarvoor de onderzochte stalen representatief worden beschouwd.

Aan de hand van dergelijke profielen is een snelle vergelijking tussen de verschillende grondstalen mogelijk. Veranderingen met de diepte worden gevisualiseerd.

Zeven profielen, die alle in hoofdzaak betrekking hebben op de zandige kreek-sedimenten, werden opgesteld. Ze worden besproken in paragraaf 2.2.3. .

2.2.2.2.4.3.7. Statistische verwerking van de resultaten

De korrelverdeling, de belangrijkste karakteristieke grootheden en de berekende doorlatendheden werden statistisch verwerkt. De statistische gegevens worden in tabelvorm gegeven in paragraaf 2.2.3. .

2.2.2.2.4.3.8. Naamgeving van de grondsoorten

De benaming van de fijnkorrelige grondsoorten ($d_{50} < 60\mu\text{m}$) is gesteund op het driehoeksdiagram voorgesteld door het Centrum voor Bodemkartering in 1954 (fig. 2.6.). Voor zand (Z en S-gronden) werd de naamgeving uitgebreid.

In overeenstemming met de klassificatie in gebruik op het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie (uitbreiding van deze opgenomen in het Typebestek 150 van het Ministerie van Openbare Werken) kan de zandfractie op basis van de gemiddelde korreldiameter in 5 fijnheidsklassen worden verdeeld :

$2000\ \mu\text{m} (-1\phi) > d_{50} > 1000\ \mu\text{m} (0\phi)$	zeer grof zand
$1000\ \mu\text{m} (0\phi) > d_{50} > 500\ \mu\text{m} (1\phi)$	grof zand
$500\ \mu\text{m} (1\phi) > d_{50} > 200\ \mu\text{m} (2,3\phi)$	middelmatig zand
$200\ \mu\text{m} (2,3\phi) > d_{50} > 125\ \mu\text{m} (3,0\phi)$	fijn zand
$125\ \mu\text{m} (3,0\phi) > d_{50} > 60\ \mu\text{m} (4,0\phi)$	zeer fijn zand

Aan de hand van de leem- en/of kleibijmenging kan voor elke fijnheidsklasse een verdere diversifikatie worden doorgevoerd. In hogergenoemde klassificatie is deze gesteund op de plasticiteitsindex. Deze werd in het bestek van onderhavige studie niet bepaald, zodat de onderverdeling voorgesteld door DEVOS (1984) werd overgenomen. Door deze auteur werd enkel de term leemhoudend in beschouwing genomen ; een onderscheid met de term kleihoudend werd niet

gemaakt. In deze studie gebeurde dit onderscheid op basis van een criterium gehanteerd in het Typebestek 150 van het Ministerie van Openbare Werken. Aldus bekomt men de volgende indeling :

fraktie 2000 - 60 μm > 95%	zand
fraktie 2000 - 60 μm = 90-95%	zeer weinig zand
fraktie 2000 - 60 μm = 85-90%	weinig zand
fraktie 2000 - 60 μm = 80-85% zand
fraktie 2000 - 60 μm = 75-80%	sterk zand
fraktie 2000 - 60 μm = 67,5-75%	zeer sterk zand

met = leemhoudend, indien korrelgroottefraktie $F I < F IIa$
 = kleihoudend, indien $F I > F IIa$.

Alle grondsoorten kunnen tenslotte bijkomend worden beschreven aan de hand van het kalkgehalte en het humusgehalte :

kalkgehalte	5 - 10%	weinig kalkhoudend
	10 - 25%	sterk kalkhoudend
	25 - 50%	zeer sterk kalkhoudend
humusgehalte	1 - 5%	weinig veenhoudend
	5 - 10%	veenhoudend
	10 - 50%	sterk veenhoudend

2.2.3. Geologische eenheden in de IJzervlakte

2.2.3.1. Algemeen

De geologische bouw van de ondergrond in de IJzervlakte is zeer verschillend van plaats tot plaats en is bepaald door de positie t.o.v. de open zee. Een algemene beschrijving van de geologische bouw geldend voor de gehele IJzervlakte kan bijgevolg niet worden gegeven. De geologische beschrijving van het studiegebied zal dan ook gebeuren aan de hand van kaarten en doorsneden welke toelaten in de IJzervlakte een aantal deelgebieden met hun eigen specifieke geologische opbouw te onderscheiden.

Alvorens de verschillende deelgebieden nader toe te lichten worden in deze paragraaf de litologische kenmerken van een aantal algemene eenheden beschreven. Met behulp van deze eenheden is een vergelijking van de litologische structuur van de verschillende deelgebieden mogelijk.

2.2.3.2. De laag T

Overal wordt in het studiegebied het tertiair substraat gevormd door een blauwgrijze tot groengrijze zeer kompakte klei. Het betreft hier de Ieperiaanklei Yc (Lid van Vlaanderen).

Aan de top vertoont de klei meestal een roestbruine verweringszone, waarvan de dikte kan oplopen tot 5 m (boring HSB8). De klei is nagenoeg steeds gekenmerkt door de aanwezigheid van zandige lenzen ; het zand is blauwgrijs van kleur, doch in de verweringszone roestbruin.

2.2.3.3. De laag K1 (K1,1 ; K1,2)

Plaatselijk is het Kwartair aan de basis gekenmerkt door een grintrijk niveau samengesteld uit zuiver silexgrint (facies K1.1) of sterk heterogeen grinthoudend zand (facies K1.2). Het grint omvat keien uit zwarte en bruine silex en bereikt een maximale dikte van ca. 5 cm. De grinteleenten in het zand zijn zwarte en bruine, hoekige silexspijstukken ($\varnothing = 1$ cm), talrijke schelpfragmenten, schelpgruis en, als belangrijkste fraktie, korrels van heldere kwarts en melkkwarts (wit en bruin, tot 3 mm). De grinteleenten bevinden zich in een matrix van grijs tot groengrijs fijn tot middelmatig zand. Het grinthoudend zand is verder gekenmerkt door het voorkomen van brokken blauwgrijze klei, waarschijnlijk van tertiaire ouderdom.

Het silexgrint rust steeds rechtstreeks op het tertiair substraat ; het kan zonder het grinthoudend zand worden aangetroffen. Dit laatste is echter slechts uitzonderlijk zonder het basisgrint waar te nemen (boring SB48 en HSB42) ; meestal is het zand boven het basisgrint aanwezig en bereikt het een maximale dikte van 0,5 m.

2.2.3.4. De laag K2 (K2,1 ; K2,2 ; K2,3)

Rechtstreeks op het tertiair substraat of op de laag K1 rust de eenheid K2 waarin drie facies kunnen worden onderscheiden : blauwe tot grijsblauwe klei (K2,1), lichtgroene zandhoudende kleileem tot lichtgrijsgroen kleihoudend fijn zand (K2,2) en donkergrijsgroen glauconiethoudend fijn tot middelmatig zand (K2,3). De onderlinge positie van de drie facies is onduidelijk.

Het facies K2,1 is in nagenoeg de gehele IJzervlakte aangetroffen, doch vooral in de IJzervallei stroomopwaarts Pollinkhove. Het is een lichte tot zeer zware klei (fig. 2.7.) met een weinig veen en schelpgruis ; sporadisch worden schelpfragmenten en volledige schelpjes, in hoofdzaak gastropoden, in grotere hoeveelheden aangetroffen (boring SB20). Het veen kan gekoncentreerd in veenlaagjes voorkomen (boring SB43) of als veenbrokken verspreid in de kleimassa.

Tussenslagen van grijs fijn zand met schelpgruis worden veelvuldig aangetroffen. Meestal betreft het lagen van minder dan 0,5 m ; ze kunnen evenwel een dikte van meer dan 2 m bereiken.

Een typisch kenmerk van dit facies is de aanwezigheid van talrijke kalkbrokjes (tot 1 cm diameter) verspreid of gekoncentreerd in laagjes (boring HSB41).

De granulometrische kenmerken van het facies K2,1 zijn samengevat in tabel 2.1 ; de bundel met kumulatieve kurven is weergegeven in figuur 2.8. . De klei- en leemfrakties (F I en F II) zijn even sterk vertegenwoordigd (ca. 45%) ; het zandgehalte bedraagt gemiddeld 8%, doch kan oplopen tot meer dan 20%.

Het facies bevat veen en plaatselijk zelfs veel met een maximaal humusgehalte van 20%. De aanwezigheid van kalkbrokjes komt niet tot uiting in het kalkgehalte, dat minder 5% bedraagt.

Omwille van zijn uitzicht is de klei vaak moeilijk te onderscheiden van de onderliggende tertiaire klei. Tussen beide is evenwel een duidelijk verschil in intensiteit van de natuurlijke gammastraling merkbaar. De weerstand tijdens het boren is geringer dan in de tertiaire klei. Bovendien wordt onder deze laag plaatselijk de laag K1 aangetroffen en vertoont de Ieperiaanklei aan de top een bruine verweringszone.

De dikte van het facies K2,1 varieert van 1 tot 7 m ; de dikte neemt algemeen af in de richting van de kust.

Tabel 2.1. Granulometrische karakteristieken van de laag K2, facies K2,1

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F IV	%	8	1,53	1,58	1,03	0,40	4,15
F III	%	8	6,46	7,10	1,10	0,65	18,10
F II	%	8	47,63	5,16	0,11	37,72	54,44
F I	%	8	44,39	13,01	0,29	24,91	60,63
F IIa	%	8	24,40	8,34	0,34	13,07	38,12
d ₅₀	μ m	8	10	12,06	1,21	2	29
U		8	78,53	43,63	0,56	27,52	138,86
σ _i	phi	8	2,59	0,27	0,10	2,22	2,98
CaCO ₃	%	8	1,84	1,91	1,04	0,08	4,78
Humus	%	8	7,11	6,22	0,87	1,30	19,90

Tabel 2.2. Granulometrische karakteristieken van de laag K2, facies K2,2.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	6	0,06	0,14	2,33	0,00	0,34
F IV	%	6	1,78	2,70	1,52	0,30	7,25
F III	%	6	21,59	15,40	0,71	2,95	43,70
F II	%	6	57,59	19,91	0,35	31,12	81,62
F I	%	6	19,04	4,94	0,26	14,10	27,04
F IIa	%	6	14,40	5,45	0,38	9,69	24,06
d ₅₀	μ m	6	39	16,02	0,41	26	70
U		6	151,56	36,12	0,24	100,53	195,90
σ _i	phi	6	2,50	0,45	0,18	1,93	2,94
CaCO ₃	%	6	8,03	4,92	0,61	3,55	14,89
Humus	%	6	1,59	0,59	0,37	1,08	2,64

Het facies K2.2 is vooral ontwikkeld in de omgeving van de IJzer, tussen Lo en Diksmuide, waar het een dikte variërend tussen 5 en 9 m bereikt. Het betreft ofwel leem, zware zandleem tot klei (fig. 2.9.), ofwel kleihoudend fijn zand. Meestal is het facies aanwezig als een afwisseling van relatief dikke, overwegend leemige en zandige zones welke respectievelijk dunne zand- en leemlaagjes vertonen (cm).

De leemlagen zijn gekenmerkt door het voorkomen van veenbrokjes of veenresten in dunne lensjes. Schelpgruis van Cardium, gastropoden en mollusken is in kleine hoeveelheden aanwezig. De cm-dikke zandlaagjes bevatten kwartskorrels en witte silexplinters (3 mm). Plaatselijk kunnen planteresten worden aangetroffen.

Ook voor dit facies is het voorkomen van kalkkonkreties, soms in laagjes, kenmerkend. Indien het facies rechtstreeks rust op het tertiair substraat of op de laag K1 kunnen aan de basis brokken blauwe klei en grintelementen worden waargenomen.

De granulometrische karakteristieken van het leem- tot kleifacies zijn samengevat in tabel 2.2 ; de bundel met kumulatieve kurven is gegeven in figuur 2.10. . Het zandfacies werd niet bemonsterd.

Het zandgehalte varieert tussen 3 en 50% wat het voorkomen van weinig en sterk zandhoudende zones bevestigt.

Het facies bevat weinig kalk en weinig veen ; de kalk- en humusgehalten bedragen respectievelijk 8% en 1,6%.

Het facies K2.3 rust rechtstreeks op het tertiair substraat, op het basisgrint of op het facies K2.1. Het betreft grijsgroen tot donkergroen, glauconiethoudend fijn tot middelmatig zand met talrijke cm-dikke laagjes van groenblauwe klei. Schelpgruis kan slechts in fijnverdeelde vorm en in relatief geringe hoeveelheden worden aangetroffen. Naar de basis van de laag wordt het zand grover en bevat het grintelementen, waaronder splijtstukken van bruine silex.

In tegenstelling met de facies K2.1 en K2.2 bevat het facies K2.3 geen kalkkonkreties.

Het facies K2.3 komt slechts verspreid voor en heeft meestal maar een dikte van ca. 1 m. Te Noordschote (boring SB16 en SB17) bereikt het facies echter een dikte van 6 m.

Zowel het facies K2.1 als het facies K2.3 zijn in de zandleemstreek te vervolgen (boring SB15).

2.2.3.5. De laag K3

Op het tertiair substraat, op het basisgrint of op de laag K2 wordt een afzetting bestaande uit grijze tot donkergrijze, zware zandleem tot lichte klei (fig. 2.11.) aangetroffen. Het facies is homogeen of is aanwezig als een afwisseling van zand -en leemlaagjes. Plaatselijk is de laag sterk zandhoudend.

Meestal bevat het sediment organisch materiaal ; het veen is aanwezig als brokjes, houtrestjes, of is gekoncentreerd in laagjes. Het veengehalte neemt af naar de basis van de afzetting. Schelpen (hoofdzakelijk Cardium) worden slechts zeer sporadisch waargenomen (boring SB37).

De laag K3 werd slechts in één boring (boring DB16/SB41) bemonsterd ; de granulometrische kenmerken zijn gegeven in tabel 2.3 ; de kumulatieve kurven in figuur 2.12. . De afzetting is er vertegenwoordigd door het sterk zandhoudende facies ; het zandgehalte bedraagt er nagenoeg 40%. De klei bevat er weinig veen (4%) en veel kalk (17%).

De laag K3 kent slechts een geringe uitbreiding en is in hoofdzaak aanwezig op plaatsen waar het tertiair substraat het diepst is uitgeschuurd. Op deze plaatsen wordt de laag meestal aangetroffen naast of onder de zandige kreeksedimenten. De dikte varieert tussen 1 en 14 m.

2.2.3.6. De laag K4

Zeer plaatselijk op de laag K3 en meestal op de laag K2 kan een organische formatie worden aangeboord, welke meestal is samengesteld uit een laagje al of niet kleihoudend veen met een dikte van 0,10 tot 0,50 m.

In de omgeving van de IJzer, en zeker te Noorschote kan dit veen in enkele diepe insnijdingen in de laag K2 sterk ontwikkeld zijn. Het bestaat er uit bruin zuiver veen (maximaal 1 m dikte), donkerbruin kleihoudend veen (tot 2 m dikte) en bruine tot zwarte sterk veenhoudende klei of leem met dunne veenlaagjes en talrijke rietresten (tot 3 m dikte). Schelpjes, in hoofdzaak gastropoden, kunnen voorkomen.

Tabel 2.3. Granulometrische karakteristieken van de laag K3.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F IV	%	3	2,09	2,00	0,96	0,88	4,40
F III	%	3	43,08	14,74	0,34	33,32	60,04
F II	%	3	35,98	13,35	0,37	20,58	44,19
F I	%	3	18,85	3,42	0,18	21,49	14,98
F IIa	%	3	19,75	5,43	0,27	13,52	23,41
d ₅₀	μ m	3	59	47,96	0,81	29	114
U		3	85,02	13,47	0,16	69,49	93,58
σ_i	phi	3	2,82	0,09	0,03	2,72	2,89
CaCO ₃	%	3	16,12	2,26	0,14	13,57	17,88
Humus	%	3	3,39	0,92	0,27	2,38	4,18

Op een aantal plaatsen in het studiegebied werd de laag K4 gedateerd (DAUCHOT-DEHON e.a., 1986). De resultaten van deze C¹⁴ - dateringen worden besproken in paragraaf 2.2.5. .

2.2.3.7. De laag K5 (K5,1 ; K5,2)

De laag K5 wordt aangetroffen in het gebied rond Avekapelle en Lampernisse ; de samenstelling ervan blijkt te worden bepaald door de positie ten opzichte van de kreekgebieden. Aldus dienen twee facies te worden onderscheiden.

Nabij de kreekgebieden is de afzetting opgebouwd uit grijs fijn zand met houtfragmentjes, fijnverdeeld schelpgruis en dunne laagjes van grijze leem (facies K5.1). Naar de basis van de afzetting neemt het gehalte aan schelpgruis toe met soms grote schelpfragmenten worden genoteerd, in hoofdzaak Cardium en mollusken.

Naarmate men zich van de kreekgebieden verwijdt gaat het facies over in grijze slappe klei of leem met reductievlekken, veenbrokken en met slechts zand (facies K5.2). Het zand vormt dunne laagjes (cm) met silexspijlstukken en zéér fijn verdeeld schelpgruis.

Tussen beide facies bevindt zich een overgangszone bestaande uit een afwisseling van kleilagen en lagen van kleihoudend fijn zand.

De dikte van de laag K5 varieert tussen 5 en 8 m. Waar het facies K5,2 rechtstreeks rust op de laag K3 is de grens tussen beide moeilijk te onderscheiden.

2.2.3.8. De laag K6 (K6,1 ; K6,2)

Op de lagen K2, K3 of K4 rust een afzetting waarvan de samenstelling lateraal sterk kan wisselen. Twee facies dienen te worden onderscheiden : lichtgrijs tot blauwgrijs kleihoudend fijn zand (K6,1) en blauwe tot blauwgrijze slappe klei (K6,2).

Het facies K6.1 vormt meestal de onderste zone van de laag K6 ; het is vooral aanwezig in de omgeving van de IJzer. Het zand is fijn tot zeer fijn en bevat steeds een vrij belangrijk kleigehalte. Vaak zijn cm-dikke kleilaagjes aanwezig. Het zand bevat slechts weinig schelpgruis ; organisch materiaal is aanwezig onder de vorm van houtrestjes.

Plaatselijk is het facies onderaan (0,50 m) grinthoudend en sterk heterogeen. Als grintelementen worden silexspijltstukken en zuivere kwarts en melkkwarts waargenomen. Het grintrijke basisniveau is in samenstelling vergelijkbaar met het grinthoudend zand van de laag K1 ; het bevat thans echter weinig tot geen kleibrokjes.

Of het facies K6,1 aan de IJzer werkelijk een afzonderlijke eenheid vormt of dient te worden gekorreleerd met de laag K5 in de omgeving van Avekapelle is niet duidelijk.

In het kleilig facies K6,2 worden als grintelementen schaarse schelpfragmenten en enkele volledige schelpen aangetroffen, vooral Cardium en kleine gastropoden. Plaatselijk kan het gehalte aan schelpen belangrijk worden, zoals in de boring SB13. De kleilaag is erg rijk aan organisch materiaal, wat zich uit als zwarte vlekken, veenbrokken, rietresten en laagjes van donkergrijze tot zwartgrijze sterk humushoudende klei. Nagenoeg steeds bevat de klei dunne laminae van fijn kleihoudend zand.

De klei wordt opgesplitst door meestal twee veenlagen van enkele cm tot 0,5 m dikte. De bovenste veenlaag is steeds aanwezig rond het peil -2 ; de diepte van de onderste veenlaag is minder konstant met variaties tussen de peilen -3,5 en -5. Op enkele plaatsen werden de veenlagen gedateerd (DAUCHOT-DEHON e.a.,1986) ; de dateringen worden besproken in paragraaf 2.2.5. .

De laag K6 bereikt gemiddeld een dikte van 4 m ; de maximaal waargenomen dikte is 7 m.

2.2.3.9. De laag K7

Nagenoeg overal in het studiegebied wordt boven de laag K6 donkerbruin veen tot sterk veenhoudende klei aangeboord. De dikte van de laag is in de omgeving van Avekapelle begrepen tussen 1 en 2 m ; nabij de IJzer kan deze dikte 4 m bedragen, in de smalle IJzervallei stroomopwaarts Pollinkhove zelfs 9 m.

De eigenlijke veenlaag bestaat in hoofdzaak uit roestbruin houtveen, hoewel onderaan meestal een paar decimeter donkerbruin tot zwart rietveen voorkomt. In de topzone kunnen vaak schelpen, meestal gastropoden, worden waargenomen.

Het veen is nergens dikker dan 5 m. Stroomopwaarts van Pollinkhove is onder de veenlaag een pakket van bruine sterk veenhoudende klei aanwezig met een maximale dikte van 4 m. In dit gebied kan de laag K7 niet worden onderscheiden van de laag K4.

Plaatselijk is het veen bedekt door een dunne laag, meestal niet dikker dan 0,30 m, van bruine veenhoudende klei.

2.2.3.10 De laag K8 (K8,1 ; K8,2,1 ; K8,2,2 ; K8,3 ; K8,4)

De laag K8 omvat de zandige opvulling van de kreek welke de IJzervlakte doorsnijden. De sedimenten bevatten grijs, al of niet kleihoudend zand met dunne kleilaagjes, houtrestjes, fijn verdeeld schelpgruis, schelpfragmenten en volledige schelpen. Op uiteenlopende diepten kunnen veenlaagjes worden aangetroffen.

De dikte van de kreekafzettingen is sterk wisselend en hangt af van de plaats t.o.v. de zee. Te Avekapelle kan de basis van de kreek sedimenten meer dan 25 m diep reiken ; stroomopwaarts van Pollinkhove bedraagt de dikte nog slechts een 6-tal m.

De zandige kreekafzettingen werden op diverse plaatsen bemonsterd. Het granulometrisch onderzoek liet toe een verticale opeenvolging van lagen met verschillende samenstelling af te leiden. Met toenemende afstand tot de zee kan bovendien een facieswisseling worden vastgesteld.

De kreek sedimenten kennen hun meest volledige opbouw in de Avekapellekreek. De granulometrische kenmerken van de verschillende facies in deze kreek zijn samengevat in enkele hydrolitologische profielen in de figuren 2.13. tot 2.16. .

In de Avekapellekreek wordt aan de basis het facies K8,1 aangetroffen, waarvan de granulometrische kenmerken zijn gegeven in tabel 2.4 ; de bundel met kumulatieve kurven is voorgesteld in figuur 2.17. . Het betreft middelmatig gesorteerd fijn zand met een globale grafische standaardafwijking van $0,95 \pm 0,2 \Phi$ en een d_{50} van $170 \pm 12 \mu m$.

Hoewel het grintgehalte maximaal slechts 2,3% bedraagt is de grintfractie toch vrij omvangrijk ; tot de grintelementen behoren in hoofdzaak schelpfragmenten, welke evenwel geen belangrijk gewichtsprocent innemen. In vergelijking met de

Tabel 2.4. Granulometrische karakteristieken van de laag K8, facies K8,1.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	4	1,56	0,73	0,47	0,73	2,32
F IV	%	4	35,39	6,28	0,18	30,44	43,66
F III	%	4	57,71	5,15	0,09	51,36	63,04
F II	%	4	3,71	1,17	0,32	2,26	5,12
F I	%	4	3,20	0,49	0,15	2,72	3,82
F IIa	%	4	1,94	0,46	0,24	1,29	2,38
d ₅₀	μ m	4	170	11,94	0,07	159	187
U		4	60,68	3,55	0,06	56,35	64,80
σ _i	phi	4	0,95	0,20	0,21	0,75	1,13
CaCO ₃	%	4	8,55	0,57	0,06	8,05	9,20
Humus	%	4	0,76	0,26	0,34	0,48	1,08

Doorlatendheden (m/d)

Metode	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Ernst	4	3,04	1,44	0,47	1,84	5,14
Beyer	4	5,04	1,42	0,28	3,38	6,85
Hooghoudt	4	6,82	0,81	0,12	5,93	7,84

bovenliggende facies zijn de schelpfragmenten in groten getale aanwezig. Vaak is het zand doorspekt met nagenoeg zuivere schelpenlaagjes. Onder de schelpen zijn Mytilus, Cardium, Macoma en schaarse gastropoden genoteerd. Andere grintelementen zijn kleibrokjes (2 cm), silexspijltstukken (zwarte en bruine silex, 1 cm) en enkele melkkwartskorrels. De kleibrokjes zijn vooral uitgesproken indien het zand rechtstreeks rust op het tertiair substraat.

Wanneer men de grintfractie (klei + leem + zand = 100%) buiten beschouwing laat, bedraagt het zandgehalte 94,6% ; het zand is bijgevolg zeer weinig kleihoudend. Het kalk en humusgehalte zijn laag.

De dikte van het facies K8,1 blijft meestal beperkt tot ca. 2 m ; waar de krekken zich diep in het tertiair substraat hebben ingesneden, kan het facies echter een dikte van meer dan 5 m bereiken (boring SB38). Het kan plaatselijk ontbreken.

Op het facies K8,1 rust het facies K8,2,1 of het facies K8,2,2. De granulometrische karakteristieken van de beide facies zijn gegeven in tabel 2.5 en 2.6 ; de kumulatieve kurven in de figuren 2.18. en 2.19. .

Het facies K8,2,1 is zowel vertikaal als lateraal vrij homogeen, met een mediaan tussen 125 en 167 μm , met $144 \pm 12 \mu\text{m}$ als gemiddelde. De zandfractie bedraagt gemiddeld $96,72 \pm 1,78 \%$. Het zand is duidelijk fijner dan dit van het facies K8,1 ; dit niet enkel omwille van de kleinere mediaan : de fractie F IV omvat nog slechts 7,5 % in vergelijking met 35,4 % voor het facies K8,1. In de kumulatieve kurven komt dit tot uiting door het steilere verloop.

Het grintgehalte is steeds kleiner dan 0,5%, als grintelementen worden schelpfragmenten, enkele leembrokjes en schaarse silexspijltstukken (1 cm) en melkkwarts aangetroffen. Bij de schelpfragmenten domineert Mytilus over Cardium ; fragmentjes van Macoma zijn zeer schaars.

Met een gemiddelde globale grafische standaardafwijking van $0,39 \pm 0,05 \Phi$ is de sortering goed. Het facies bevat weinig kalk en weinig veen.

Het facies is in de Avekapellekreek overal aangetroffen, zij het met een sterk wisselende dikte, welke kan variëren tussen 1 en 9 m.

Tabel 2.5. Granulometrische karakteristieken van de laag K8, facies K8,2,1.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	17	0,11	0,15	1,36	0,00	0,47
F IV	%	17	7,56	4,45	0,59	2,56	17,97
F III	%	17	89,16	4,00	0,04	79,37	93,50
F II	%	17	1,61	0,92	0,57	0,31	3,55
F I	%	17	1,66	0,39	0,23	0,96	2,33
F IIa	%	17	0,61	0,34	0,56	0,08	1,29
d ₅₀	μ m	17	144	12,13	0,08	125	167
U		17	70,55	6,33	0,09	59,52	81,15
σ _i	phi	17	0,39	0,05	0,13	0,32	0,47
CaCO ₃	%	17	9,12	1,19	0,13	7,68	11,45
Humus	%	17	0,34	0,22	0,65	0,12	1,08

Doorlatendheden (m/d)

Metode	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Hazen	17	8,24	2,28	0,28	4,18	11,94
Ernst	18	5,22	1,59	0,30	2,66	7,41
Beyer	18	6,00	1,26	0,21	3,58	8,12
OCW	10	5,04	0,84	0,17	3,93	6,39
Hooghoudt	18	5,24	1,05	0,20	3,78	7,32
Amer. form.	13	3,65	0,47	0,27	2,99	4,49

Tabel 2.6. Granulometrische karakteristieken van de laag K8, facies K8,2,2.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	7	0,52	0,79	1,52	0,00	2,22
F IV	%	7	13,03	7,38	0,57	3,94	21,48
F III	%	7	76,72	10,93	0,14	62,44	89,52
F II	%	7	5,56	2,97	0,53	2,64	11,65
F I	%	7	4,69	2,69	0,57	2,04	9,49
F IIa	%	7	2,06	0,53	0,26	1,48	2,74
d ₅₀	μ m	7	143	14,19	0,10	128	168
U		7	72,01	7,31	0,10	58,88	79,33
σ _i	phi	7	1,05	0,48	0,46	0,54	1,56
CaCO ₃	%	7	6,91	3,65	0,53	1,29	10,32
Humus	%	7	0,69	0,46	0,67	0,28	1,68

Doorlatendheden (m/d)

Metode	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Hazen	2	3,64	1,09	0,30	2,87	4,41
Ernst	2	1,69	1,15	0,68	0,51	2,26
Beyer	5	4,41	1,65	0,37	2,64	6,52
Hooghoudt	7	4,95	1,13	0,23	3,96	7,18
Amer. form.	2	3,40	0,30	0,09	3,18	3,61

Het facies K8,2,2 verschilt van het facies K8,2,1 in hoofdzaak door een hoger leem- en kleigehalte. In de korrelverdeling (tabel 2.6) komt dit tot uiting in een vermindering van het zandgehalte tot 89,75 % en een toename van het klei- en leemgehalte tot een maximale waarde van 21%. In dit geval bevat het zand veel klei. Meestal gaat het om cm-dikke kleilaagjes in de zandmassa. De grintfractie, welke meer dan 2% kan bedragen, bevat dan ook nagenoeg uitsluitend klei- en leembrokjes (tot 2 cm). Schelpfragmenten (Mytilus, Cardium en Macoma) en melkkwarts zijn schaars.

Het facies K8,2,2 is middelmatig gesorteerd met een grafische standaardafwijking van $1,05 \pm 0,48 \Phi$. De minder goede sortering in vergelijking met het facies K8,2,1 is te wijten aan een geringere bijdrage van de fractie F III tot de korrelverdeling en korresponderend hiermee aan grotere waarden voor de fracties F IV, F II en F I.

Het facies K8,2,2 wordt zowel onder als boven als midden in het facies K8,2,1 aangetroffen. De dikte kan 4 m bedragen.

Vervolgens wordt het grovere facies K8,3 aangeboord. Het zandgehalte bedraagt $96,71 \pm 2,92$ % (tabel 2.7, figuur 2.20.) ; het grovere karakter van dit facies komt tot uiting in een grotere d_{50} , $177 \pm 7 \mu\text{m}$, een toegenomen belang van de fractie F IV, 14 tot 34 %, en een grotere verscheidenheid aan grintelementen. Grote hoeveelheden schelpfragmenten (tot 2 cm) van Mytilus, Cardium en Macoma kunnen worden aangetroffen, alsook opnieuw enkele kleine gastropoden (0,50 cm). Leem-of kleibrokjes (1-2 cm), houtrestjes, schaarse melkkwartskorrels, meerdere silexstukjes (zwarte en bruine silex, 1 cm) en silexkeitjes tot 2 cm diameter vormen de rest van de grintfractie, welke 2,8% kan bedragen.

Het facies is goed gesorteerd ($\sigma_i = 0,46 \pm 0,16 \Phi$), weinig kalk- en niet veenhoudend.

Het facies kan plaatselijk ontbreken ; de dikte varieert tussen 2 en 6 m.

Het facies K8,3 wordt gevolgd door het facies K8,4 waarvan de granulometrische kenmerken zijn gegeven in tabel 2.8 ; de kumulatieve kurven zijn voorgesteld in figuur 2.21. . De samenstelling van dit facies stemt nagenoeg overeen met deze van het facies K8,2,1, wat wordt aangetoond door de vergelijking van tabel 2.5 met tabel 2.8 en van figuur 2.18. met figuur 2.21. . Het betreft goed gesorteerd fijn zand met een

Tabel 2.7. Granulometrische karakteristieken van de laag K8, facies K8,3.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	14	0,53	0,73	1,38	0,02	2,82
F IV	%	14	22,81	5,45	0,24	13,72	33,70
F III	%	14	73,90	4,64	0,06	65,46	83,92
F II	%	14	1,64	1,40	0,85	0,24	5,27
F I	%	14	1,65	0,79	0,48	0,60	3,41
F IIa	%	14	0,85	0,76	0,89	0,12	2,92
d ₅₀	μ m	14	177	6,83	0,04	169	192
U		14	58,75	2,29	0,04	54,13	62,30
σ _i	phi	14	0,46	0,16	0,35	0,34	0,93
CaCO ₃	%	14	7,55	1,57	0,21	5,62	12,03
Humus	%	14	0,41	0,45	1,10	0,14	1,76

Doorlatendheden (m/d)

Metode	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Hazen	12	11,76	5,13	0,44	5,31	21,80
Ernst	12	8,57	2,14	0,25	5,52	12,46
Beyer	13	8,09	0,71	0,09	6,93	9,41
OCW	9	6,92	0,56	0,08	6,31	7,97
Hooghoudt	13	7,37	0,53	0,07	6,73	8,50
Amer. form.	13	4,48	0,39	0,09	3,83	5,21

Tabel 2.8. Granulometrische karakteristieken van de laag K8, facies K8,4.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	12	0,32	0,40	1,25	0,00	1,00
F IV	%	12	7,61	5,37	0,71	1,28	16,90
F III	%	12	88,34	5,67	0,06	80,14	95,88
F II	%	12	2,13	1,61	0,76	0,63	6,66
F I	%	12	1,92	1,04	0,54	1,05	4,83
F IIa	%	12	0,99	0,79	0,80	0,27	3,19
d ₅₀	μ m	12	149	11,68	0,08	131	168
U		12	68,40	5,01	0,07	61,86	77,14
σ _i	phi	12	0,44	0,23	0,52	0,29	1,17
CaCO ₃	%	12	9,31	1,19	0,13	7,75	11,26
Humus	%	12	0,35	0,21	0,60	0,14	0,80

Doorlatendheden (m/d)

Metode	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Hazen	10	8,30	1,91	0,23	4,89	10,88
Ernst	10	5,68	1,37	0,24	3,94	7,94
Beyer	10	6,47	0,41	0,06	5,85	7,02
OCW	5	4,90	0,62	0,13	4,25	5,70
Hooghoudt	11	5,51	0,71	0,13	4,54	6,51
Amer. form.	10	3,58	0,23	0,06	3,24	3,88

globale grafische standaardafwijking van $0,44 \pm 0,23 \Phi$ en een mediaan van $149 \pm 12 \mu\text{m}$.

Het zandgehalte bedraagt $95,95 \pm 3,05 \%$ en is nagenoeg volledig samengesteld uit de fraktie F III. Het grintgehalte is steeds kleiner dan 1% en bevat, naast houtresten en enkele leembrokjes, uitsluitend schelpfragmenten. In de vorige facies kon Mytilus als belangrijkste soort worden aangetroffen, in het facies K8,4 worden nagenoeg uitsluitend fragmenten en volledige exemplaren van Cardium genoteerd.

Het zand bevat weinig kalk en geen veen. Wanneer het rechtstreeks rust op het facies K8,2,1 is het van dit facies slechts te onderscheiden op grond van de schelpinhoud.

Het facies K8,4 is zeer continu en kan een maximale dikte van 12 m bereiken. Naar de kreekranden neemt de dikte af.

Meer stroomopwaarts, in de overgangszone tussen de Avekapellekreek en de IJzerkreek en in laatstgenoemde kreek, wordt meestal slechts één facies waargenomen. Slechts in enkele diepe insnijdingen, zoals in de IJzerkreek te Nieuwkapelle, kunnen meerdere facies worden onderscheiden. Op deze plaatsen overweegt het facies K8,4 ; het facies K8,3 vormt de basis van de krekken (boringen HSB40, SB1, HSB41 en HSB42). Zeer lokaal, waar de krekken voor de stroomopwaarts gelegen gebieden uitzonderlijk diep zijn uitgeschuurd, treft men dunne lagen van het facies K8,2 en het facies K8,1 aan (boringen SB1 en SB8).

De granulometrische samenstelling van het facies K8,4 is voor de IJzerkreek te Nieuwkapelle gegeven in tabel 2.9. Een overzicht van de granulometrie wordt verkregen in het hydrolitologisch profiel in figuur 2.22. . De kumulatieve kurven worden gegeven in figuur 2.23. . De korrelverdeling is volledig vergelijkbaar met deze van het overeenkomstige facies in de Avekapellekreek. Het zand is iets fijner, wat zich uit in een afname van de d_{50} tot $138 \pm 11 \mu\text{m}$ en in een hoger klei- en leemgehalte (gemiddeld 6%, maximaal 20%). De sortering is goed met een globale grafische standaardafwijking van $0,37 \pm 0,06 \Phi$.

Het grintgehalte is steeds kleiner dan 1% ; onder de grintelemente[n] worden leem- en/of kleibrokjes, houtrestjes en vooral schelpfragmenten (Cardium en schaarse Mytilus) vastgesteld.

Tabel 2.9. Granulometrische karakteristieken van de laag K8, facies K8,4 te Nieuwkapelle.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	9	0,04	0,05	1,25	0,00	0,15
F IV	%	9	3,79	3,06	0,81	0,52	10,20
F III	%	9	90,29	4,40	0,05	83,36	96,06
F II	%	9	2,88	2,41	0,84	1,08	8,98
F I	%	9	3,04	3,18	1,05	1,10	11,18
F IIa	%	9	1,02	0,69	0,68	0,48	2,71
d ₅₀	μ m	9	138	10,65	0,08	115	151
U		9	73,89	7,88	0,11	66,49	94,11
σ _i	phi	9	0,55	0,39	0,71	0,29	1,45
CaCO ₃	%	9	6,84	1,40	0,20	5,68	10,45
Humus	%	9	0,75	0,35	0,47	0,40	1,58

Doorlatendheden (m/d)

Metode	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Hazen	7	7,79	2,04	0,26	4,29	10,03
Ernst	7	4,47	1,03	0,23	3,12	5,80
Beyer	7	6,07	0,34	0,06	5,59	6,50
OCW	4	4,47	0,31	0,07	4,23	4,91
Hooghoudt	9	4,67	0,76	0,16	2,81	5,63
Amer. form.	7	3,37	0,20	0,06	3,10	3,63

Indien slechts één facies aanwezig is is het zand zeer homogeen en waarschijnlijk te korreleren met het facies K8,4 in de Avekapellekreek. Het homogene zand werd bemonsterd in twee boringen stroomopwaarts Pollinkhove ; de gemiddelde korrelverdeling is samengevat in tabel 2.10 ; de hydrolitologische profielen en de kumulatieve kurven zijn respectievelijk gegeven in de figuren 2.24., 2.25. en 2.26. .

Het betreft een zéér fijn zand met een gemiddelde korreldiameter van slechts 115 ± 7 μm . Met een gemiddelde globale grafische standaardafwijking van $0,63 \pm 0,30 \Phi$ is de sortering middelmatig goed. Het zandgehalte is iets lager dan in de meer stroomafwaarts gelegen gebieden en bedraagt $90,4 \pm 5,46 \%$; het klei- en leemgehalte is gestegen tot nagenoeg 10%.

De grintfractie is meestal te verwaarlozen en omvat, naast enkele leem-en/of kleibrokjes en kleine silexstukjes, nagenoeg uitsluitend houtresten, welke verkiezeld kunnen zijn. Schelpfragmenten zijn uiterst zeldzaam ; schelpgruis is er slechts in zeer fijn verdeelde toestand aanwezig.

De kreeksedimenten vertonen bijgevolg belangrijke verschillen met toenemende afstand tot de zee. In de Avekapellekreek zijn de afzettingen gekenmerkt door een verticale opeenvolging van grove en fijne zandfacies met als grintelementen in hoofdzaak mariene schelpen. Houtresten worden slechts in relatief geringe hoeveelheden aangetroffen.

In de IJzercreek stroomopwaarts van Nieuwkapelle wordt meestal slechts één facies, bestaande uit fijn zand, aangeboord. Waarschijnlijk is het zand te korreleren met het bovenste facies van de Avekapellekreek ; het wordt fijner met toenemende afstand tot de zee. In het zand worden nog uiterst zelden schelpfragmenten vastgesteld ; het veengehalte onder de vorm van houtresten is echter aanzienlijk. Hierbij kan worden vermeld dat tijdens het boren in de IJzercreek continu houtresten moesten worden verwijderd uit de bak met spoelwater teneinde verstopping van de pomp te voorkomen. Over een zandpakket van slechts 6 m en een booroperatie van ca. 30 min kon nagenoeg een halve emmer met houtresten worden gevuld.

Tabel 2.10. Granulometrische karakteristieken van de laag K8, facies K8,4 stroomopwaarts Pollinkhove.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	16	0,10	0,18	1,80	0,00	0,75
F IV	%	16	1,04	0,71	0,68	0,18	2,54
F III	%	16	89,36	4,71	0,05	78,34	94,40
F II	%	16	6,41	3,90	0,61	3,12	14,79
F I	%	16	3,19	1,38	0,43	1,57	6,67
F IIa	%	16	1,60	0,67	0,42	0,86	3,17
d ₅₀	μ m	16	115	6,89	0,06	99	124
U		16	91,53	9,90	0,11	77,83	111,43
σ _i	phi	16	0,63	0,30	0,48	0,29	1,30
CaCO ₃	%	16	8,99	0,88	0,10	7,69	10,50
Humus	%	16	2,01	1,54	0,77	0,52	6,74

Doorlatendheden (m/d)

Metode	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Hazen	8	3,60	1,55	0,43	1,77	5,93
Ernst	13	1,70	1,00	0,59	0,30	3,16
Beyer	12	3,33	0,87	0,26	2,29	5,09
Hooghoudt	16	3,06	0,60	0,20	2,01	4,11

2.2.3.11. De laag K9

Aan de kreekranden zijn de zandige kreeksedimenten zeer vaak bedekt door de laag K9. Het kreekzand gaat er naar boven toe achtereenvolgens over in kleihoudend fijn zand, zware zandleem, lichte klei en tenslotte zware klei (fig. 2.27.).

Meestal bevat de laag een weinig veen en plaatselijk zelfs veel ; men treft het veen aan in brokken of als houtrestjes. Schelpen kunnen voorkomen (boringen SB37, SB41, SB43) ; het betreft in hoofdzaak Cardium en Mytilus.

Aan de top kan de klei overgaan in zwartgrijze zeer slappe leem met talrijke schelpfragmenten (boring SB37 en HSB26).

De laag K9 werd bemonsterd in twee boringen in de Avekapellekreek ; de granulometrische kenmerken zijn samengevat in de tabellen 2.11 , 2.12 en 2.13 . Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen het kleihoudend zand, de zware zandleem en lichte klei, en de zware klei . De kumulatieve kurven zijn gegeven in figuur 2.28. .

De geleidelijke afname van het zandgehalte naar de zware klei toe komt duidelijk tot uiting ; het zandgehalte bedraagt achtereenvolgens 72,84%, 55,46% en 6,82%. De laag is steeds sterk kalkhoudend en weinig veenhoudend.

De laag K9 is meestal 1 tot 2 m dik ; plaatselijk kan de dikte oplopen tot 4 m.

2.2.3.12. De laag K10

In de gehele IJzervlakte wordt de top van de kwartaire afzettingen gevormd door een 1 tot 2 m dikke, beige tot roestbruine zeer vaste klei (laag K10) met vergaen hout en talrijke roestniveaus. De klei is steeds een weinig zandhoudend en meestal een weinig veenhoudend. Hij wordt slapper naar de basis toe.

Waar de klei de laag K7 of de laag K9 bedekt, is hij over zijn gehele dikte vrij homogeen en zwaar ; boven de laag K8 wordt tussen de zandige kreeksedimenten en de zware klei eerst een overgangszone van zeer sterk kleihoudend zand tot sterk zandhoudende klei (fig. 2.29.) vastgesteld. Dit feit wijst op een geleidelijke wijziging van het facies door toenemende verlanding van de kreken.

De granulometrische kenmerken van de overgangszone enerzijds en de zware klei anderzijds zijn respektievelijk gegeven in de tabel 2.14 en 2.15 . De kumulatieve

Tabel 2.11. Granulometrische karakteristieken van de laag K9, kleihoudend zand.

Parameter	Eenheid	Waarde	Parameter	Eenheid	Waarde
F V	%	0,32	d ₅₀	μ m	149
F IV	%	7,61	U		68,40
F III	%	88,34	σ _i	phi	0,44
F II	%	2,13	CaCO ₃	%	9,31
F I	%	1,92	Humus	%	0,35
F IIa	%	0,99			

Tabel 2.12. Granulometrische karakteristieken van de laag K9, zware zandleem tot lichte klei.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/ \bar{X}	Min.	Max.
F V	%	2	0,08	0,11	1,38	0,00	0,15
F IV	%	2	2,92	1,30	0,45	2,00	3,84
F III	%	2	52,54	0,20	0,01	52,40	52,68
F II	%	2	25,73	2,12	0,08	24,23	27,23
F I	%	2	18,81	3,62	0,19	16,25	21,37
F IIa	%	2	16,52	1,12	0,07	15,73	17,31
d ₅₀	μ m	2	104	4,95	0,05	100	107
U		2	69,25	3,36	0,05	66,87	71,62
σ _i	phi	2	2,90	0,07	0,02	2,85	2,95
CaCO ₃	%	2	17,16	0,20	0,01	17,02	17,30
Humus	%	2	2,84	0,28	0,10	2,64	3,04

Tabel 2.13. Granulometrische karakteristieken van de laag K9, zware klei.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F IV	%	2	0,22	0,30	0,14	0,20	0,24
F III	%	2	6,60	6,84	1,04	1,76	11,44
F II	%	2	51,79	0,95	0,02	51,11	52,46
F I	%	2	41,35	5,93	0,14	37,15	45,54
F IIa	%	2	35,30	5,16	0,15	31,65	38,95
d ₅₀	μ m	2	5	2,83	0,57	3	7
U		2	58,19	19,66	0,34	44,28	72,09
σ _i	phi	2	2,51	0,29	0,12	2,30	2,71
CaCO ₃	%	2	19,40	0,95	0,05	18,75	20,04
Humus	%	2	4,14	1,81	0,44	2,86	5,42

Tabel 2.14. Granulometrische karakteristieken van de laag K10, zeer sterk kleihoudend zand tot sterk zandhoudende klei.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	2	0,17	0,23	1,35	0,00	0,33
F IV	%	2	2,62	2,97	1,13	0,52	4,72
F III	%	2	56,92	10,41	0,18	49,56	64,28
F II	%	2	19,43	6,10	0,31	15,12	23,74
F I	%	2	21,03	7,28	0,35	15,88	26,18
F IIa	%	2	8,60	3,20	0,37	6,33	10,86
d ₅₀	μ m	2	88	35,36	0,40	63	113
U		2	80,89	4,61	0,06	77,63	84,15
σ _i	phi	2	2,87	0,08	0,03	2,81	2,93
CaCO ₃	%	2	12,87	4,86	0,38	9,43	16,31
Humus	%	2	0,83	0,10	0,12	0,76	0,90

Tabel 2.15. Granulometrische karakteristieken van de laag K10, zware klei.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
F V	%	3	0,02	0,03	1,50	0,00	0,06
F IV	%	3	0,68	0,48	0,71	0,40	1,24
F III	%	3	14,06	12,14	0,86	5,30	27,92
F II	%	3	42,82	9,11	0,21	32,30	48,21
F I	%	3	42,44	3,91	0,09	38,54	46,35
F IIa	%	3	25,80	5,97	0,23	19,51	30,22
d ₅₀	μ m	3	6	3,21	0,53	4	10
U		3	65,92	6,51	0,10	60,36	73,08
σ _i	phi	3	2,82	0,29	0,10	2,60	3,14
CaCO ₃	%	3	16,19	5,25	0,32	10,23	20,15
Humus	%	3	1,59	0,27	0,17	1,30	1,84

kurven zijn samen voorgesteld in figuur 2.30. . In de overgangszone bedraagt het zandgehalte nog $58,54 \pm 13,61\%$; de zware klei bevat nog slechts $14,74 \pm 13,05\%$ fijn zand. De laag is steeds weinig tot niet humushoudend en sterk kalkhoudend.

2.2.4. Geologische beschrijving per deelgebied

2.2.4.1. Kaarten en doorsneden

2.2.4.1.1. Doorsneden

Met behulp van de eigen boorgegevens werden negen litologische doorsneden opgesteld. Het verloop ervan is weergegeven op de documentatiekaart (plaat 2.2.b.).

In het gebied rond Avekapelle - Pervijze werd vooral aandacht besteed aan de opbouw van de Avekapellekreek. De litologische structuur van deze kreek is weergegeven in drie doorsneden : een lengtedoorsnede doorheen het oostelijk deel van de kreek, tussen Avekapelle en Pervijze (plaat 2.3.), een dwarsdoorsnede doorheen dit deel van de kreek te Avekapelle (plaat 2.4.) en een lengtedoorsnede doorheen het zuidelijk deel van de kreek, tussen Avekapelle en Zoutenaai (plaat 2.5.). In de doorsneden werden de poelgebieden in de onmiddellijke omgeving van de kreek aangeboord.

In de meer landwaarts gelegen gebieden van de IJzervlakte, ten zuiden van Lampernisse, werden naast de kreek sedimenten ook de poelgebieden uitgebreid bestudeerd. De opbouw van de IJzerkreek kan worden afgeleid uit twee doorsneden : een lengtedoorsnede doorheen de kreek tussen Roesbrugge en Nieuwkapelle (plaat 2.6.) en een dwarsdoorsnede te Nieuwkapelle (plaat 2.7.). In deze laatste doornede zijn ook de omliggende poelgebieden opgenomen.

De lagenopbouw van de poelgebieden is weergegeven op vier doorsneden, één te Noordschote (plaat 2.8.) en drie doorheen de smalle IJzervallei stroomopwaarts Pollinkhove (plaat 2.9. tot 2.11.).

De verspreide waarnemingspunten, waaronder de gestoken boringen uitgevoerd door de Belgische Geologische Dienst (BAETEMAN, 1981-1986) laten toe de lagenopbouw ter hoogte van de doorsneden te veralgemenen naar geologische deelgebieden.

2.2.4.1.2. Kaarten

Om de litologische bouw van het Kwartair te verduidelijken werden ook kaarten opgesteld. Het betreft :

- een diktekaart van het Kwartair (plaat 2.12.) ;
- het voorkomen van de laag K1 (plaat 2.13.) ;
- het voorkomen van de laag K2, met onderscheid tussen de verschillende facies (plaat 2.14.) ;
- het voorkomen van de laag K4 (plaat 2.15.) ;
- een diktekaart van de zandige sedimenten in de IJzercreek (laag K8) (plaat 2.16.) ;
- een diktekaart van de zandige sedimenten in de Avekapellekreek (plaat 2.17.)

2.2.4.2. Deelgebied 1 : de IJzervlakte in de omgeving van Avekapelle - Pervijze

De Avekapellekreek (plaat 2.3. tot 2.5.) reikt nagenoeg steeds tot op het tertiair substraat ; ter hoogte van de kreek wordt dan ook enkel de laag K8 aangetroffen. De boringen welke de poelgebieden aansnijden en de door de Belgische Geologische Dienst uitgevoerde, verspreide, gestoken boringen laten toe de opbouw van de poelgebieden te achterhalen. Het voorkomen van de andere litologische eenheden (laag K1 t.e.m. K10) kan er worden uit afgeleid.

De top van het tertiair substraat (laag T) vertoont vooral tussen Avekapelle en Pervijze (plaat 2.3.) een sterk golvend verloop, met peilvariaties tussen -10 en -17. Enkele smalle en diepe insnijdingen, tot het peil -27, kunnen worden vastgesteld. Onder het zuidelijk deel van de Avekapellekreek (plaat 2.5.) is de top van de laag T hoger gelegen, tussen de peilen -5 en -10, doch vertoont er eveneens enkele diepere insnijdingen tot het peil -14.

De diktekaart van het Kwartair (plaat 2.12.) geeft het globale verloop van de top van de laag T in dit gebied.

De laag K1 wordt slechts zeer sporadisch aangetroffen, zoals blijkt op plaat 2.13. . Te Pervijze (boringen SB43 en SB44) en te Eggewaartskapelle (boringen SB32, SB33 en SB34) is de laag vertegenwoordigd door het silexgrint (facies K1,1). Te Avekapelle werd in één boring (SB48) het sterk heterogene grinthoudende zand waargenomen (facies K1,2).

In tegenstelling tot de laag K1 wordt de laag K2, althans onder de poelgebieden, nagenoeg steeds aangeboord. In de kreekgebieden daarentegen wordt de laag slechts aangetroffen aan de kreekranden en uiterst zelden in de diepste delen van de Avekapellekreek (boring SB32 en SB42). In laatstgenoemde boring is de laag bewaard gebleven in een smalle en diepe uitschuring in het tertiair substraat.

Zowel de facies K2,1 , K2,2 als K2,3 komen voor (plaat 2.14.). Het facies K2,1 werd aangeboord ten noorden van Avekapelle (boringen SB48 en SB37), te Pervijze (boringen SB43 en SB44) en ten zuiden van Eggewaartskapelle (boring SB36). De dikte van het facies is relatief beperkt en bedraagt meestal niet meer dan 2 m ; uitzonderlijk wordt een grotere dikte bereikt : 6 m ter hoogte van de boring SB44.

Het facies K2,2 is het sterkst vertegenwoordigd ; het wordt vooral aangetroffen ten oosten en ten zuiden van de Avekapellekreek. In het bestek van deze studie werd het facies aangeboord ten noorden van Zoutenaai (boringen HSB48 en HSB49). In eerstgenoemde boring betreft het grijsgroen fijn zand, in laatstgenoemde boring een grijsgroen complex van dunne zand- en kleilaagjes.

Het facies werd eveneens aangetroffen in enkele gestoken boringen, te Pervijze, te Oostkerke en tussen Lampernisse en Zoutenaai. Het betreft steeds een afwisseling van dunne klei- en zandlaagjes. Daar het facies op sterk gespreide plaatsen is vastgesteld mag worden aangenomen dat het sediment in het beschouwde gebied een grote uitbreiding kent.

De dikte van het facies is vrij konstant en varieert tussen 3 en 6 m.

Het facies K2,3 is slechts zeer lokaal aanwezig ; het werd aangetroffen in de boringen SB48 en HSB5, respectievelijk op het peil -11 en -4 en steeds rechtstreeks rustend op het tertiair substraat. De dikte van het facies is beperkt tot 1 à 2 m.

De top van de laag K2 is nabij de Avekapellekreek vrij vlak en gelegen op het peil -10 (zie bv. plaat 2.3.). Elders wordt de top aangetroffen op sterk wisselende diepten : op het peil -15,6 te Oostkerke en het peil -5 te Lampernisse.

De laag K3 wordt meestal aangetroffen onder de zandige kreeksedimenten, aan de randen van de Avekapellekreek. Ze rust op de laag K2 of rechtstreeks op het tertiair substraat. Onder de poelgebieden wordt de laag niet aangeboord. De uitbreiding van de laag K3 is dan ook relatief klein.

De laag is vooral belangrijk ten noorden van Avekapelle (boringen SB29 en SB35, plaat 2.4.) waar ze een relatief diepe geul in het tertiair substraat opvult. Ze is er aanwezig tussen de peilen -6 en -20 en bereikt aldus een maximale dikte van 14 m. Ook ter hoogte van de boringen SB42 en SB43 (plaat 2.3.) is de laag omvangrijk, met een dikte van 7 m. In eerstgenoemde boring is de laag aanwezig in een smalle geul in het tertiair substraat ; ze reikt er tot het peil -26 en rust op de laag K2.

De top van de afzetting ligt op sterk uiteenlopende peilen, afhankelijk van de mate waarin de laag is aangesneden. Globaal beschouwd is de top aanwezig tussen de peilen -5 en -10.

Hoewel de laag K4 op diverse plaatsen onder de poelgebieden is aangeboord (plaat 2.15.) kent ze toch geen grote laterale uitbreiding. Het betreft meestal een veenlaagje dat dikwijls niet dikker is dan 0,10 m en nagenoeg steeds rust op de laag K2.

Te Avekapelle werd het veen aangeboord op het peil -7, te Pervijze en te Zoutenaai op het peil -10 en te Oostkerke op het peil -15,5.

De laag K5 is samen met de laag K2 de belangrijkste afzetting onder de poelgebieden. Aanwezig als een continu en dik pakket, rust ze op de laag K4 of de laag K2. De dikte bedraagt meestal ca. 7 m.

In het bestek van deze studie is de laag aangetroffen ten noorden en ten zuiden van de Avekapellekreek (plaat 2.4.) en ten oosten en zuidoosten ervan (plaat 2.3.). Nabij de Avekapellekreek wordt het facies K5,1 aangeboord ; op grotere afstand van de kreek het facies K5,2.

Opmerkelijk is dat ter hoogte van de boring HSB33 (plaat 2.4.) het facies K5,1 in de onmiddellijke omgeving van de kreek dezelfde samenstelling vertoont als de aangrenzende kreeksedimenten. Zoals in de kreek wordt van onder naar boven een opeenvolging van grinthoudend zand (cf. facies K8,1), fijn zand (cf. facies K8,2), fijn tot middelmatig zand (cf. facies K8,3) en fijn zand (cf. facies K8,4) vastgesteld. Deze gelijke opbouw wijst duidelijk op een verband tussen beide afzettingen.

De laag K5 vertoont een relatief vlakke top ; deze is algemeen gelegen tussen de peilen -3 en -5. Nabij de Avekapellekreek kan de top van de afzetting oprijzen tot het peil -1.

De laag K6 is algemeen aanwezig tussen de peilen +0 en -5 ; de dikte varieert tussen 3 en 5 m. Ze rust nagenoeg steeds op de laag K5. Het betreft bijna steeds klei met organisch materiaal ; nabij de Avekapellekreek kan de laag sterk zandhoudend zijn. Twee veenlagen kunnen in de kleilaag worden aangetroffen, respectievelijk op het peil -2 en -4. Ter hoogte van de boring SB44 liggende veenlagen hoger , respectievelijk op de peilen -0,5 en -2,5.

Op de laag K6 treft men het oppervlakteveen (laag K7) aan dat in dit gebied een gemiddelde dikte van 2 m bereikt. Het veen ligt er tussen de peilen +0 (of -1) en +2.

De Avekapellekreek is opgevuld met sedimenten van de laag K8. De dikte van deze laag is voorgesteld op de plaat 2.17. .

De kreek sedimenten bereiken ten noorden van Eggewaartskapelle algemeen een dikte van meer dan 15 m, plaatselijk zelfs van meer dan 25 m. Ten zuiden van deze gemeente neemt de dikte af tot 5 à 10 m ; slechts in een smalle centrale zone wordt nog een dikte van meer dan 10 m vastgesteld.

In de Avekapellekreek worden alle facies van de laag K8 aangeboord.

Het grinthoudend facies K8,1 vormt de basis van de kreek sedimenten ; het facies rust dan ook rechtstreeks op het tertiair substraat.

De dikte van de laag varieert meestal tussen 2 en 3 m ; dikten van meer dan 5 m zijn echter mogelijk (boring SB38). De top van de laag ligt algemeen tussen de peilen -14 en -12. In het gebied tussen Avekapelle en Pervijze kan de top dieper voorkomen (-19 in de boring SB38) ; in het gebied ten zuiden van Avekapelle hoger (-6 in de boring SB31).

In beide gebieden kan het facies plaatselijk ontbreken, meestal als gevolg van het dieper voorkomen van het facies K8,2.

Het facies K8,2 rust nagenoeg overal op het facies K8,1 ; aan de kreek randen kan het echter ontbreken. Het facies K8,2,1 is algemeen vertegenwoordigd ; het facies K8,2,2 daarentegen is eerder lokaal aanwezig. In het gebied ten zuiden van Avekapelle (plaat 2.5., boringen SB27, SB30 en SB34) vormt laatstgenoemd facies een 4 m dik pakket, rechtstreeks rustend op het facies K8,1 of zelfs op het tertiair substraat. In deze zone is het facies in de boring SB27 uitzonderlijk samengesteld uit een stijve, sterk veenhoudende klei. Te Pervijze (plaat 2.3., boringen SB40, SB42 en SB41) komt het facies voor als een ca. 3 m dikke interkallatie in het facies K8,2,1. Het facies bestaat er uit een afwisseling van dunne zand- en leemlaagjes.

Het facies K8,2 vertoont een sterk wisselende dikte met variaties tussen 1 en 8 m. Afhankelijk van de mate waarin het is aangesneden door het facies K8,3 is de top gelegen tussen de peilen -1 en -17.

Het facies K8,3 is ontwikkeld in de gehele Avekapellekreek ; het kan plaatselijk evenwel ontbreken, waardoor het facies K8,4 rechtstreeks rust op het facies K8,2. Dit is het geval in de boringen SB28 en SB29 te Avekapelle (plaat 2.4.) en in de boring SB32 (plaat 2.5.) te Eggewaartskapelle.

De dikte van het facies varieert tussen 0 en 8 m ; het is het sterkst ontwikkeld in de boringen SB33 en SB38, waar het zeer diep reikt. Op deze plaatsen is het onderliggende facies K8,2 nagenoeg verdwenen. De top van de afzetting kan worden aangeboord tussen de peilen -12 en +2.

De top van de kreesedimenten wordt overal gevormd door het facies K8,4 met dikteschommelingen tussen 1 en 13 m. De top van het facies is vlak ; de diktevariaties zijn dan ook volledig te wijten aan de wisselende diepte waarop de basis is gelegen.

De laag K9 bereikt haar grootste dikte aan de randen van de Avekapellekreek, waar deze 3 m kan bedragen (boringen SB37 en SB43, plaat 2.3.). Naar het centrum van de Avekapellekreek wigt de laag uit. Ter hoogte van de poelgebieden is de laag niet aangeboord.

De laag K10 vormt de top van de kwartaire sedimenten en is zowel in de Avekapellekreek als in de poelgebieden aanwezig. De laag is over het algemeen ca. 1 m dik.

2.2.4.3. Deelgebied 2 : de IJzervlakte in de omgeving van Oudekapelle

Het gebied rond Oudekapelle betreft het deel van de IJzervlakte tussen Lampernisse, Diksmuide en Nieuwkapelle. Op de zoneringskaart (plaat 2.1.) omvat het de regio ten oosten van de pleistocene donk rond Lo, tot aan de IJzer.

De litologische opbouw van de IJzerkreek in dit gebied kan worden afgeleid uit een dwarsdoorsnede doorheen deze kreek iets ten zuiden van Nieuwkapelle (plaat 2.7.) en een langsdoorsnede doorheen de kreek iets ten westen van eerstgenoemde doorsnede (plaat 2.8., deel van de doorsnede ten noorden van de IJzer). In de dwarsdoorsnede werden ook de poelgebieden tussen de IJzerkreek en de IJzer

aangeboord ; in de lengtedoorsnede de poelgebieden tussen de kreek en de pleistocene donk. De structuur van de poelgebieden kan verder worden afgeleid uit verspreide in het bestek van deze studie uitgevoerde boringen, uit enkele gestoken boringen van de Belgische Geologische Dienst (BAETEMAN, 1981-1986) en uit sonderingen verricht in opdracht van de Vlaamse Maatschappij voor Waterbedeling.

In de dwarsdoorsnede te Nieuwkapelle is het golvend tertiair substraat (laag T) aangeboord tussen de peilen -10 en -15. Uit de diktekaart van het kwartair dek (plaat 2.12.) kan worden afgeleid dat dit substraat overal voorkomt onder het peil -6. Het betreft een vrij brede uitschuring tussen de pleistocene donk rond Lo in het westen en de zandleemstreek in het oosten. Nabij de donk is de uitschuring het diepst en kan er in een smalle zone reiken beneden het peil -20 (zie ook plaat 2.8., noordelijk deel van de doorsnede). De top van de laag T helt bijgevolg zeer steil nabij de donk, doch is vrij vlak tussen de diepste uitschuring en de zandleemstreek. De steile helling van het substraat nabij de donk blijkt op plaat 2.8. waar in het noordelijk deel van de doorsnede het substraat 19 m stijgt over een afstand van slechts 250 m.

De laag K1 is in het gebied slechts sporadisch aangetroffen (plaat 2.13.), meestal onder de IJzerekreek. In de boringen SB6, SB11, HSB41 en SB51 is de laag vertegenwoordigd door het facies K1,1 bestaande uit zwart silexgrint ; in de boring HSB42 door het facies K1,2 samengesteld uit grijsgroen grinthoudend zand. De dikte bedraagt maximaal 0,5 m ; de laag wordt aangeboord tussen de peilen -10 en -12.

De laag K2 wordt overal aangetroffen (plaat 2.14.), in tegenstelling tot het gebied rond Avekapelle nu ook in de kreekgebieden. De laag bereikt haar grootste dikte in de poelgebieden, plaatselijk tot 10 m (boringen HSB44 en SB50). De top van de laag is er meestal gelegen rond het peil -6, plaatselijk hoger (peil -2 in de boring HSB44, plaat 2.7.). In de IJzerekreek is de laag door de kreeksedimenten aangesneden ; de top van de laag is er dan ook dieper gelegen.

Het facies K_{2,1} kent in de dwarsdoorsnede te Nieuwkapelle zijn grootste uitbreiding in het noordelijk deel van de doorsnede ; naar de IJzer toe gaat het facies over in het facies K_{2,2}. Ten oosten en ten westen van deze doorsnede is het facies echter ook vastgesteld nabij de IJzer (boringen SB12, SB50 en SB51). Verder is het aangeboord te Sint-Jacobskapelle en te Oudekapelle. Er mag dan ook worden gesteld dat het facies algemeen aanwezig is in het beschouwde gebied en zeker sterker ontwikkeld dan in

het gebied rond Avekapelle. Het facies is zeer vaak gekenmerkt door zandige tussenlagen, meestal van grijs fijn zand, doch plaatselijk (boring HSB27) van grijsgroen middelmatig zand (facies K2,2). In de boring HSB39 en de sondering AD8 kan een zandlaag met een dikte van 4 m worden vastgesteld.

Het facies komt meestal alleen voor en bereikt dan een dikte van 5 tot 10 m. Wanneer het facies samen met de andere facies van de laag K2 aanwezig is is de dikte beperkt.

Het facies K2,2 kent net als in het gebied rond Avekapelle een grote uitbreiding ; in de doorsnede te Nieuwkapelle is het aanwezig tussen de IJzerkreek en de IJzer, boven en onder het facies K2,3. Het is er vertegenwoordigd door grijsgroen fijn zand. Het is verder aangetroffen te Oudekapelle en te Sint-Jacobskapelle , waar het is samengesteld uit een afwisseling van meer zandhoudende en meer kleihoudende zones. Hierbij is de top van het sediment in hoofdzaak zandig, de basis vooral kleiig. De dikte van het facies schommelt tussen 2 en 7 m.

Het facies K2,3 is aangetroffen in de doorsnede te Nieuwkapelle. Het betreft grijsgroen glauconiethoudend zéér fijn zand tot zandhoudende leem. Het facies is aanwezig onder of boven het facies K2,2 en bereikt een dikte van 2 tot 6 m.

Te Nieuwkapelle wordt onder de IJzerkreek (plaat 2.7.), op het peil -7, een ca. 1 m dikke laag grijze veenhoudende klei waargenomen. Waarschijnlijk betreft het de laag K3. Deze laag is echter vooral ontwikkeld in de diepe uitschuring nabij de pleistocene donk rond Lo (boring SB9, plaat 2.8.) ; ze zorgt voor de opvulling van deze geul en bereikt er een dikte van 11 m. De top van de laag is gelegen op het peil -6. Of de laag een grote laterale uitbreiding kent kan uit de beschikbare gegevens niet worden afgeleid.

Te Oudekapelle is in een gestoken boring waarschijnlijk de laag K4 aangetroffen. Het betreft een ca. 0,1 m dik veenlaagje dat op het peil -5 voorkomt tussen de laag K3 en de laag K5. In de boring SB9 (plaat 2.8.) is op hetzelfde peil een 0,5 m dikke laag van kleihoudend veen aangeboord.

De laag K5 wordt in het beschouwde gebied niet meer aangetroffen ; het is een afzetting die blijkbaar de meer zeewaarts gelegen gebieden kenmerkt.

Nagenoeg overal rust op de laag K2 de laag K6. Afhankelijk van de diepte van de top van eerstgenoemde laag varieert de dikte van laag K6 tussen 1 m (boring HSB44) en 7 m (boring HSB39).

Het facies K6,1 is slechts in twee boringen nabij de IJzer, ten zuiden van Nieuwkapelle, teruggevonden (boringen SB50 en SB51). Men treft er de grinthoudende basiszone niet aan. Elders is de laag volledig opgebouwd uit het kleiige facies K6,2, opgesplitst door één, twee of drie veenlagen. In de meeste gevallen zijn twee veenlagen te onderscheiden, respectievelijk op het peil -2 en -4. Soms is een derde veenlaag aanwezig op het peil -6 (boringen SB52 en HSB39). Lokaal wordt de laag opgesplitst door slechts één veenlaag, welke dan een dikte van 1,5 m kan bereiken en bijgevolg wijst op een langdurige onderbreking van het sedimentatieproces.

De laag K7 vormt een continue veenlaag met een gemiddelde dikte van ca. 2 m. Ze wordt aangeboord tussen de peilen +2 en +0.

De kreeksedimenten (laag K8) zijn in de IJzercreek eenvoudiger van opbouw dan in de Avekapellekreek. Het grinthoudende facies K8,1 en het fijnkorrelige facies K8,2 worden slechts uitzonderlijk aangetroffen in de diepste delen van de IJzercreek (boring SB1 op plaat 2.7. en boring SB8 op plaat 2.8.). In eerstgenoemde boring bereiken de facies respectievelijk een dikte van 0,3 en 1,5 m en liggen op de peilen -11,3 en -9,8. Het facies K8,2 is bedekt door een veenlaagje.

In de boring SB8 is de IJzercreek dieper uitgeschuurd waardoor het facies K8,1 voorkomt op het peil -14. De top van het facies K8,2 wordt aangeboord op hetzelfde peil, waardoor de dikte toeneemt tot 4 m.

Buiten deze diepe uitschuring vormen het facies K8,3 of het facies K8,4 de basis van de kreeksedimenten. Het facies K8,3 is aangetroffen te Nieuwkapelle (plaat 2.7.) ; de dikte varieert tussen 2 en 4 m De top is relatief vlak en gesitueerd tussen de peilen -4 en -6. Naar de randen van de IJzercreek verdwijnt het facies. Meer stroom-opwaarts wordt het facies nog slechts uitzonderlijk aangeboord.

De belangrijkste afzetting is het facies K8,4 dat het overgrote deel van de IJzercreek opvult. De dikte van dit facies varieert algemeen tussen 6,5 en 10 m ; plaatselijk wordt een grotere dikte bereikt.

De totale dikte van de laag K8 bedraagt te Nieuwkapelle gemiddeld 10 m (plaat 2.7. en plaat 2.16.) ; in de diepere uitschuring ter hoogte van de boring SB1 is de laag 14 m

dik. Ten westen van Nieuwkapelle is de kreek dieper uitgeschuurd (plaat 2.8.) ; de kreeksedimenten bereiken er in de diepste delen een dikte van 16 tot 18 m.

De laag K9 is minder omvangrijk dan in het gebied rond Avekapelle ; de dikte blijft beperkt tot 0,5 m.

De laag K10 vormt overal de top van de kwartaire afzettingen en vertoont een uniforme dikte van 1,5 m.

2.2.4.4. Deelgebied 3 : de IJzervlakte in de omgeving van Noordschote

Met de IJzervlakte rond Noordschote wordt de samenvloeiing van de valleien van de Ieperlee en de Kemmelbeek, ten zuiden van de IJzer, bedoeld. Op de zoneringskaart (plaat 2.1.) betreft het smalle holocene valleien te midden van overdekt pleistocene gronden. Het gebied is nagenoeg volledig ingenomen door poelgebieden ; slechts enkele smalle ondiepe uitlopers van de IJzerkreek doorsnijden het gebied.

De opbouw van de poelgebieden komt duidelijk tot uiting op plaat 2.8. waar het zuidelijk deel van de doorsnede het gebied doorsnijdt.

In de doorsnede vertoont de top van de laag T een golvend verloop met peilschommelingen tussen -8 en -15. Uit de diktekaart van het kwartair dek (plaat 2.12.) kan worden afgeleid dat de laag T meestal wordt aangeboord beneden het peil -10. In de zandleemstreek te Noordschote (boring SB15) is het tertiair substraat gelegen op het peil -5,5.

Het basisgrint K1 is in nagenoeg alle boringen aangetroffen (plaat 2.8. en 2.13.), meestal tussen de peilen -10 en -13, doch plaatselijk iets hoger (boring SB16, peil -8). In de meeste gevallen is zowel het facies K1,1 als het facies K1,2 aanwezig, waarbij eerstgenoemd facies rust op het tertiair substraat.

De dikte van de laag K1 blijft beperkt tot 0,5 m.

De laag K2 is kontinu ontwikkeld en vormt, in dikte variërend tussen 3,5 en 9 m, de belangrijkste afzetting in het gebied. Nabij de zandleemstreek (boring SB17) is het Kwartair nagenoeg uitsluitend opgebouwd uit de laag K2 ; ze bereikt er een dikte van

13 m en reikt tot het peil +2. Elders is de top van de laag dieper gesitueerd met peilvariaties tussen -2 en -9,5.

Ook nu zijn alle facies in het gebied vertegenwoordigd (plaat 2.14.). De facies K2,1 en K2,2 kunnen waarschijnlijk in het gehele gebied worden aangeboord ; ze komen afzonderlijk of samen voor. In het laatste geval vormt het facies K2,1 meestal de basis van de laag. Het facies K2,1 is opnieuw gekenmerkt door zandige tussenlagen. Het facies K2,2 is enkel aanwezig als een afwisseling van meer leemhoudende en meer zandhoudende zones, waarbij de leemlagen overheersen. Zandlagen, zoals in beide voorgaande gebieden, worden niet meer aangetroffen.

Het facies K2,3 is enkel aangeboord nabij de zandleemstreek (boringen SB16 en SB17) ; het kent er een belangrijke uitbreiding met een dikte tot 7,5 m. Dit facies is blijkbaar vooral ontwikkeld in de randzone van de kustvlakte.

De facies K2,1 en K2,3 kunnen worden vervolgd tot in de zandleemstreek (boring SB15).

De laag K3 is in het gebied niet aangetroffen.

De laag K4 is plaatselijk sterk ontwikkeld in enkele diepe en smalle insnijdingen in de laag K2. Voorbeelden hiervan zijn de boringen SB14 en SB19 op plaat 2.8. . De laag bestaat er uit bruin zuiver veen, donkerbruin kleihoudend veen en bruine tot zwarte sterk veenhoudende klei met dunne veenlaagjes en rietresten. De dikte van de laag kan oplopen tot 5 m ; de top ervan ligt op het peil -4. De relatief grote laterale uitbreiding van de veengeul in de laag K2 in de doorsnede op plaat 2.8. is te wijten aan het feit dat de doorsnede de geul niet loodrecht kruist, doch schuin.

In tegenstelling tot beide voorgaande gebieden kent de laag K4 thans wel een belangrijke omvang, wijzend op een vrij lange periode zonder sedimentatie.

De laag K4 is bedekt door de laag K6 welke gekenmerkt is door een relatief vlakke basis, doch een golvende top. Laatstgenoemde is aanwezig tussen de peilen +0 en -2. De afzetting bestaat onderaan uit het zandfacies K6,1, met de grinthoudende basiszone, bovenaan uit het kleifacies K6,2. Plaatselijk kan één van beide facies ontbreken.

Op het peil -2 wordt een veenlaagje vastgesteld.

Het oppervlakteveen (laag K7) is duidelijk meer uitgebreid dan in de vorige gebieden ; de dikte bedraagt er meestal 3 tot 4 m. Wanneer de laag K2 diep is aangesneden kunnen veenlagen met een dikte van 10 m worden aangetroffen. In

deze gevallen is een deel van het veen zeker te korreleren met de laag K4 ; de laag K6, welke een onderscheid tussen beide veenlagen mogelijk maakt, is er niet afgezet.

De laag K8 wordt slechts aangetroffen in enkele smalle zijarmen van de IJzercreek. Het verloop van deze zijarmen kan worden afgeleid uit de zoneringskaart (plaat 2.1.). Een dergelijke zijarm wordt bovendien aangesneden door de doorsnede op plaat 2.8. (boringen SB12, SB13 en SB14). Nabij de IJzercreek is de laag K8 samengesteld uit fijn zand, waarschijnlijk te korreleren met het facies K8,4. Op grotere afstand van de kreek wordt grijze zandhoudende en veenhoudende leem aangeboord.

De laag K8 bereikt een dikte van 3 tot 4 m en is ingesneden tot het peil +0.

De laag K10 vormt, zoals in de rest van de IJzervlakte, een continu kleidek met een dikte van 1,5 m.

2.2.4.5. Deelgebied 4 : de smalle IJzervallei ten zuiden van Lo

Op de zoneringskaart (plaat 2.1.) omvat dit gebied de smalle zone met subboreale en/of atlantische sedimenten te midden van de overdekt pleistocene gronden ten zuiden van Lo. De litologische opbouw van dit gebied kan slechts ten dele worden afgeleid uit de beschikbare gegevens. Er zijn immers slechts 4 boringen in het beschouwde gebied uitgevoerd. In de lengtedoorsnede doorheen de IJzercreek tussen de Frans-Belgische grens en Nieuwkapelle (plaat 2.6.) heeft de strook tussen de boringen SB20 en SB18 betrekking op het gebied. In dit profiel worden, door de aanwezigheid van de IJzercreek, slechts enkele lagen aangeboord : de laag T, de laag K1, de laag K2, de laag K8 en de laag K10. De andere lagen zijn waarschijnlijk bewaard gebleven onder de poelgebieden rond de IJzercreek. Waarschijnlijk is hun opbouw vergelijkbaar met deze in de IJzervallei stroomopwaarts Pollinkhove. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 2.2.4.6. .

De diktekaart van de kwartaire sedimenten (plaat 2.12.) toont dat het beschouwde gebied overeenstemt met een ca. 500 m brede strook waar de laag T diep is uitgeschuurd, tot het peil - 15, temidden van een gebied waar deze laag rond het peil +0 is gelegen. Het gebied is in het noorden begrensd door de pleistocene donk rond Lo, in het zuiden door overdekt pleistocene gronden.

In de doorsnede op plaat 2.6. vertoont de laag T ter hoogte van de boringen SB18 en SB21 een hoog peil in vergelijking met de andere boringen. Dit hoge peil is te wijten aan het feit dat de IJzercreek de insnijding in het tertiair substraat niet precies volgt.

De laag K1 werd slechts aangeboord, in de boring SB5 en in een gestoken boring van de Belgische Geologische Dienst te Fintele. In de boringen is de laag opgebouwd uit het facies K1,1 ; in de boring SB5 worden twee silexlaagjes waargenomen.

De laag K2 kent een grote uitbreiding in het gebied. Ze is algemeen aanwezig en bereikt een dikte van ca. 8 m. Enkel het facies K2,1 is aangeboord (plaat 2.14.).

In stroomafwaartse richting (boring SB5) bedraagt de dikte van de laag K8 14 m, meer stroomopwaarts worden de kreek sedimenten dunner om nog slechts een dikte van 8 m te bereiken (plaat 2.16.). De laag is samengesteld uit homogeen fijn zand dat waarschijnlijk te korreleren is met het facies K8,4.

De laag K10 vormt opnieuw de top van de kwartaire afzettingen.

2.2.4.6. Deelgebied 5 : de smalle IJzervallei stroomopwaarts van Pollinkhove

Dit gebied omvat de smalle uitloper van de IJzervlakte naar de Frans-Belgische grens, tussen het Plateau van Izenberge in het noorden en de zandleemstreek in het zuiden. De geologische bouw van de vallei wordt afgeleid uit de reeds vermelde lengtedoorsnede vanaf de Frans-Belgische grens (plaat 2.6.) en drie dwarsdoorsneden doorheen de vallei (plaat 2.9. tot 2.11.). De doorsneden zijn respectievelijk gelegen te Elzendamme, Stavele en Roesbrugge.

De vallei is uitgeschuurd in de laag T ; het centrale deel van de vallei is ingesneden tot het peil -12 à -15. Aan de randen van de vallei klimt de top van de laag T om in de zandleemstreek het peil +2,5 te bereiken. De breedte van de diepste insnijding neemt af naar de Frans-Belgische grens toe en bedraagt in de doorsneden, van Elzendamme naar Roesbrugge, respectievelijk 100, 90 en 60 m. De valleien vertonen hun steilste rand in het noorden.

De laag K1 is in geen enkele boring aangetroffen ; men kan dan ook aannemen dat het basisgrint in de vallei niet voorkomt.

De laag K2 kent een zeer belangrijke uitbreiding in het gebied ; ze zorgt voor de opvulling van het diepe centrale deel van de vallei tot het peil -5. te Elzendamme en te Stavele en tot het peil -3 te Roesbrugge. In de diepste delen van de vallei bereikt de laag dan ook een dikte van 5 tot 10 m, waarbij de dikte toeneemt naar de Frans-Belgische grens. Ook aan de randen van de vallei is de laag bewaard ; ze is er op een steeds hoger peil gelegen, waar ze nog slechts een dikte van 1 m bereikt. De laag is te vervolgen in de zandleemstreek.

De laag is nagenoeg uitsluitend samengesteld uit het facies K2,1 (plaat 2.14.). Enkel te Roesbrugge werden de facies K2,2 en K2,3 aangeboord. Eerstgenoemd facies is in de boring HSB46 aanwezig als een 0,7 m dikke laag van grijsgroene zandhoudende klei, onder het facies K2,1. Het facies K2,3 is aangetroffen in de boringen DB2 en DB3 waar het voorkomt als dunne zandlaagjes in het facies K2,1.

Op de laag K2 rust, meestal enkel in de diepste delen van de vallei, een grijze veenhoudende en zandhoudende klei welke een dikte van 2 tot 3 m bereikt. De top van de laag is te Elzendamme en te Stavele gelegen op het peil -5 ; ze is aanwezig in een insnijding in de laag K2. Te Roesbrugge is de laag hoger gesitueerd en komt ze ook aan de randen van de vallei voor.

Of deze kleilaag mag gekorreleerd worden met de laag K3 in de andere deelgebieden van de IJzervlakte is niet duidelijk.

De laag K2 en de grijze leem zijn vanaf het peil -5 tot -7 te Elzendamme en Stavele en vanaf het peil -3 te Roesbrugge bedekt door een zeer omvangrijk organisch complex (laag K4 + laag K7), onderaan samengesteld uit sterk veenhoudende klei tot kleihoudend veen en bovenaan uit zuiver veen. Het complex zorgt voor de opvulling van de gehele IJzervallei tot het peil +3. Het bereikt een maximale dikte van 9 m ; de veenlaag aan de top van de organische lagen is echter nooit meer dan 5 m dik en reikt niet dieper dan het peil -2.

De laag duidt op een aanhoudende veengroei gedurende een zeer lange periode ; de eigenlijke laag K6 is er nooit afgezet. Dit wijst erop dat het gebied in die periode niet door de zee is overstroomd. Tussen het peil +0 en -4 is het organisch complex wel gekenmerkt door het voorkomen van enkele lemige tussenlagen. Het betreft grijze zandhoudende en plaatselijk ook veenhoudende leem. Mogelijkerwijze vertegenwoordigen deze, waarschijnlijk fluviatiele afzettingen, dezelfde sedimentatieperiode als de laag K6.

Het organisch complex is doorsneden door de IJzercreek, welke is opgevuld met de laag K8. De kreek sedimenten bereiken in de drie doorsneden respectievelijk een dikte van 9 m, 5 m en 4 m ; de IJzercreek verdwijnt bijgevolg geleidelijk naar de Frans-Belgische grens toe. De eigenlijke kreekbreedte bedraagt respectievelijk 90, 60 en 50 m. Te Elzendamme en te Stavele vertoont de kreek steile randen, te Roesbrugge daarentegen een ca. 60 m brede zone waar de laag K8 slechts een dikte van 1,5 m bereikt. Deze uitwigging kan er op wijzen dat hier het einde van de IJzercreek is bereikt ; stroomopwaarts Roesbrugge is de kreek immers niet meer aangeduid op de bodemkaart.

Te Elzendamme en te Stavele is de kreek gelegen in het diepe, centrale deel van de vallei, te Roesbrugge daarentegen aan de valleirand. De IJzer is meestal gelegen aan de rand van de kreek, zowel aan de noordzijde als aan de zuidzijde.

De laag K8 is samengesteld uit homogeen, zeer fijn zand dat waarschijnlijk overeenstemt met het facies K8,4. Het belangrijkste kenmerk van de laag is het extreem hoge gehalte aan veenresten en het ontbreken van schelpfragmenten.

In de drie doorsneden kan buiten de IJzercreek een tweede geultje in het organisch complex worden vastgesteld. Het is telkens opgevuld met grijze zandhoudende en veenhoudende leem en dateert waarschijnlijk uit dezelfde periode. Te Stavele is het smalle geultje aanwezig onder de IJzercreek en reikt er tot op de laag K2.

Meestal aan de kreekranden en te Roesbrugge in de gehele kreek wordt de laag K9 aangeboord. Deze laag kent echter een geringe omvang en is niet dikker dan 0,5 m.

De laag K10 vormt opnieuw de top van de kwartaire afzettingen en bereikt een dikte van 1 tot 2 m.

2.2.4.7. Deelgebied 6 : de overdekt pleistocene gronden ten zuiden van de IJzer en ten westen van de Kemmelbeek.

De geologische bouw van dit deelgebied kon worden onderzocht aan de hand van een groot aantal dicht tegen elkaar uitgevoerde sonderingen (Vlaamse Maatschappij voor Waterbedeling). Deze lieten niet toe de litologische samenstelling van de kwartaire lagen in detail te bestuderen ; wel konden op basis van de konusweerstand vier eenheden worden onderscheiden : een laag met geringe konusweerstand

(eenheid 1, klei), een laag met relatief hoge konusweerstand (eenheid 2, zand), een laag met geringe tot middelmatige konusweerstand (eenheid 3, al of niet zandhoudende klei) en een laag met zeer geringe konusweerstand (eenheid 4, slappe klei of veen). Bovendien werd de top van de laag T teruggevonden.

De sonderingen werden verwerkt tot twee eenvoudige doorsneden, één nabij de IJzer en één nabij de zandleemstreek (plaat 2.18. en 2.19.). Het verloop van de doorsneden is weergegeven op de dokumentatiekaart (plaat 2.2.b.).

Nabij de IJzer (plaat 2.18.) vertoont de top van het tertiair substraat (laag T) een sterk golvend verloop tussen +1 en -7,5. Op de laag T rust een kleilaag met diktevariaties tussen 0 en 6 m (eenheid 1), welke op zijn beurt is bedekt door een afzetting die in hoofdzaak is opgebouwd uit zand (eenheid 2). Waar de kleilaag ontbreekt rust de zandlaag rechtstreeks op de laag T.

De meest omvangrijke laag is de eenheid 3, welke waarschijnlijk is samengesteld uit min of meer zandhoudende klei. Plaatselijk bereikt deze laag een dikte van 8 m. De top van het kwartair dek wordt gevormd door een ca. 1 m dikke laag van slappe klei (eenheid 4). Lokaal is de laag diep ingesneden in de eenheid 3 (sondering R19) en is in dat geval voor een belangrijk deel opgebouwd uit veenlagen.

Nabij de zandleemstreek (plaat 2.19.) is de top van de laag T eerder vlak en duidelijk dieper gelegen : tussen het peil -9 en -13. De diktekaart van het kwartair dek (plaat 2.12.) toont nabij de zandleemstreek een smalle, diepe insnijding in het tertiair substraat, welke vertrekt van het gebied rond Noordschote.

In de Survey van West-Vlaanderen (MARECHAL e.a., 1964) is op de diktekaart van het Jong-Kwartair deze insnijding veel breder aangegeven en loopt ze door tot ver in de zandleemstreek (voorbij Vleteren). Het Kwartair wordt er aangeduid als zijnde 15 m dik. Een in die zone uitgevoerde boring (boring SB53) trof het substraat echter reeds aan op 4,5 m diepte, wat het voorkomen van deze brede geul in de zandleemstreek tegenspreekt. Er mag dan ook worden aangenomen dat de insnijding eerder verloopt zoals aangegeven op plaat 2.12. .

De eenheid 1 is slechts in twee sonderingen aangetroffen, met een maximale dikte van 1 m. Nagenoeg overal op de laag T rust dan ook de eenheid 2, welke een gemiddelde dikte van 4 m bereikt. De belangrijkste laag is opnieuw eenheid 3 waarvan de dikte thans 8 tot 13 m bedraagt. De eenheid 4 vormt een ca. 1 m dikke deklaag.

In een gestoken boring uitgevoerd nabij Fintele is de laag T gesitueerd op het peil -4. Ze is bedekt door slechts drie lagen : de laag K1, de laag K2 en de laag K10. De laag K2 omvat onderaan het facies K2,2 en bovenaan het facies K2,1. Eerstgenoemd facies is in hoofdzaak vertegenwoordigd door lagen van grijsgroen kleihoudend zeer fijn zand. De laag bereikt een dikte van 6,5 m. Aan de top wordt de laag K10 aangeboord met een dikte van 1,5 m.

Vergelijking van de sonderingen met deze boring en vergelijking van sonderingen uitgevoerd in het gebied rond Noordschote met nabijgelegen boringen laat toe de eenheden in de hogerbeschreven doorsneden te korreleren met de in de vorige paragrafen beschreven litologische eenheden. Op deze wijze kan tot het volgende worden besloten :

- eenheid 1 = laag K2, waarschijnlijk facies K2,1 ;
- eenheid 2 = laag K2, waarschijnlijk facies K2,2 ;
- eenheid 3 = laag K2, facies K2,1 of K2,2 ;
- eenheid 4, met geringe dikte = laag K10 ;
- eenheid 4, in diepe geulen = laag K4 tot K10.

2.2.4.8. Syntese van de verspreiding van de verschillende litologische eenheden

De laag K1 wordt aangetroffen van Avekapelle tot Noordschote, waarbij ze vooral in het laatste gebied sterk is ontwikkeld. Stroomopwaarts Pollinkhove wordt het basisgrint niet meer aangeboord.

De laag K2 is in de gehele IJzervlakte aanwezig. De dikte van de laag neemt toe in landwaartse richting ; in de zeewaarts gelegen gebieden is ze het sterkst aangesneden en plaatselijk zelfs verdwenen. In de omgeving van Avekapelle en Nieuwkapelle en ten zuiden van Lo is de laag vooral samengesteld uit het facies K2,2, in de omgeving van Noordschote en zeker stroomopwaarts Pollinkhove uit het facies K2,1.

Het voorkomen van de laag K3 is onduidelijk. Meestal is de laag aanwezig in diep in het tertiair substraat uitgeschuurde geulen, in de onmiddellijke omgeving van de kreeksedimenten.

De laag K4 is over de gehele IJzervlakte aangeboord, doch vormt waarschijnlijk geen aaneengesloten laag en is meestal beperkt in dikte. Te Noordschote, in diepe geulen in de laag K2, en zeker stroomopwaarts Pollinkhove bereikt de laag een belangrijke dikte.

Enkel in de zeewaarts gelegen gebieden wordt de laag K5 aangeboord ; de meer landwaarts gelegen gebieden lagen in deze periode buiten de sedimentatiezone.

De laag K6 is aanwezig in het grootste deel van de IJzervlakte, tot in Noordschote ; meer stroomopwaarts kwam de laag niet tot ontwikkeling.

De laag K7 vormt een continue veenlaag in het hele gebied, waarvan de dikte toeneemt in landwaartse richting. Stroomopwaarts van Pollinkhove en plaatselijk te Noordschote vormt de laag samen met de laag K4 één groot complex van organische lagen.

De zandige kreken zijn opgevuld door de laag K8 ; deze laag wordt dan ook overal aangetroffen. De samenstelling van de laag wijzigt zich echter in landwaartse richting.

De laag K9 wordt aangeboord aan de randen van de zandige kreken. De laag is het sterkst ontwikkeld nabij de Avekapellekreek.

De laag K10 vormt overal de top van de kwartaire sedimenten en is in de gehele IJzervlakte even dik. De laag ontbreekt nergens.

2.2.5. Kronostratigrafische beschouwingen

In het bestek van het uitgevoerde onderzoek was het niet mogelijk kronostratigrafische gegevens (paleobotanische argumenten, C^{14} - dateringen, e.a.) te verzamelen. Er kon bijgevolg geen verfijnde kronostratigrafische schaal van de kwartaire lagen in de IJzervlakte worden opgesteld. Niettemin kan aan de hand van reeds beschikbare dateringen en door vergelijking met de literatuur toch een gedeeltelijke ouderdomsinterpretatie worden gegeven aan de litologische eenheden aangetroffen in het studiegebied.

De laag T is uiteraard van tertiaire ouderdom en is te korreleren met het Lid van Vlaanderen (Yc op de geologische kaart).

In de ouderdomsinterpretatie van de kwartaire formaties wordt de laag K4 aangewend als referentielaag ; ze werd immers op meerdere plaatsen in het studiegebied gedateerd (DAUCHOT-DEHON e.a., 1986). De C¹⁴ - dateringen zijn samengevat in tabel 2.16.

Tabel 2.16. C¹⁴ - dateringen uitgevoerd op de laag K4 (DAUCHOT-DEHON e.a., 1986)

Plaats	peil (m T.A.W.)	C ¹⁴ -ouderdom(j B.P.)
Pervijze	-5,2	7.230 ± 85
Avekapelle	-7,0	7.155 ± 270
Noordschote	-6,8	7.030 ± 85
Oostkerke	-15,6	7.000 ± 80
Dijk	-5,0	6.870 ± 80

De C¹⁴ - ouderdommen zijn vergelijkbaar en schommelen rond 7.000 j B.P. ; de laag K4 mag dan ook in het Vroeg - Atlanticum worden geplaatst. Het is een veenlaag welke voorkomt aan de basis van het Holoceen, doch niet overeenstemt met het basisveen s.s. uit de literatuur. Dit laatste wordt immers beschouwd als zijnde van het Boreaal. Boreaal basisveen werd aangetroffen te Wulpen en gedateerd op 8.250 ± 95 j B.P. (DAUCHOT-DEHON e.a., 1986) en te Adinkerke waar de C¹⁴ - ouderdom 7.790 ± 130 j B.P. bedraagt (DENYS e.a., 1983).

Waarschijnlijk is ook in het studiegebied, in de landwaarts gelegen gebieden, basisveen s.s. aanwezig.

De laag K4 laat bijgevolg toe een onderscheid te maken tussen de pleistocene en de holocene lagen.

Aan de laag K2 mag met grote waarschijnlijkheid een pleistocene ouderdom worden toegekend. De facies K2,1 en K2,3 zijn te vervolgen in de zandleemstreek te Noordschote (boring SB15). De laag is bovendien steeds aanwezig onder het basisveen van de laag K4.

Vergelijking met de literatuur laat toe de laag in het Holstein- interglaciaal onder te brengen. Immers, aan het facies K2,1 werd reeds een Holstein-ouderdom toegekend

door BAETEMAN (1981) ; het facies werd vervolgd in de zandleemstreek waar de Holstein-ouderdom (Ho3a en Ho3b) op grond van paleobotanische argumenten werd bevestigd (PONNIAH, 1977).

In de typelokaliteit van de Formatie van Herzeele (briqueterie d'Herzeele) van Holstein- en Croomer-ouderdom wordt, van onder naar boven, de volgende stratigrafische opbouw aangetroffen :

- grijsgroene glaukoniethoudende middelmatig tot grove zanden ;
- veen met ligniet;
- een klei-leem-komplex ;
- grijsgroene zanden met schelpen die naar boven toe over gaan in een kleilaag.

Mogelijkerwijze kunnen het glaukoniethoudend zand en de grijsgroene zanden met schelpen respectievelijk worden gekorreleerd met de facies K2,3 en K2,2 in de IJzervlakte.

De diepste insnijding van de IJzervlakte is dan ook waarschijnlijk van voor het Holstein.

De chronostratigrafische positie van de laag K3 is onduidelijk. Waarschijnlijk wordt de laag ter hoogte van de boring SB9 aangetroffen onder het basisveen van de laag K4, wat zou toelaten de laag in het Pleistoceen te plaatsen. De bevestiging hiervan vereist bijkomende gegevens.

De lagen K5 tot K10 liggen steeds op het basisveen van de laag K4 en dateren dus zeker van het Holoceen.

De top en de basis van het veen van de laag K7 werd op meerdere plaatsen in het studiegebied gedateerd (BAETEMAN, 1981 ; DAUCHOT-DEHON e.a., 1986) ; de resultaten zijn samengevat in tabel 2.17.

Tabel 2.17. C¹⁴ - dateringen op de laag K7 (BAETEMAN, 1981 ; DAUCHOT-DEHON e.a., 1986)

Plaats	C ¹⁴ -ouderdom (j B.P.)	
	basis v/h veen	top v/h veen
Noordschote	5.220 ± 70	1.750 ± 55
Avekapelle	4.800 ± 80	3.290 ± 80
Booitshoeke	4.770 ± 215	2.080 ± 135
Lampernisse	4.640 ± 65	2.040 ± 60
Oostkerke	4.180 ± 60	

Op grond van de C¹⁴ - ouderdommen moet de laag tot het Subboreaals worden gerekend. Het betreft het zg. oppervlakteveen of Hollandveen uit de literatuur. In de IJzervlakte begon de veenvorming algemeen tussen 4.800 en 4.500 j B.P. ; de landwaarts gelegen gebieden (Noordschote) waren echter reeds vroeger buiten de mariene invloed gelegen ; de veenvorming startte er reeds in het Laat - Atlanticum. Uit de literatuur (o.a. BAETEMAN, 1981) blijkt dat aan de veengroei een einde kwam rond 3.500 tot 3.000 j B.P. , wat in overeenstemming is met de C¹⁴ - datering van de top van het veen te Avekapelle. Elders in het studiegebied blijkt de veengroei zich te hebben voortgezet, tot in het Subatlanticum. De veengroei duurde het langst in de landwaarts gelegen gebieden.

De lagen K5 en K6 zijn gelegen tussen het basisveen van de laag K4 en het oppervlakteveen van de laag K7 en moeten dus tot het Atlanticum worden gerekend. De laag K6 wordt meestal opgesplitst door twee veenlagen, respectievelijk op het peil -4 en -2. Eerstgenoemde veenlaag werd gedateerd te Noordschote ; de C¹⁴ - ouderdom bedraagt 6.500 ± 95 j B.P. Het veen op het peil -2 werd gedateerd te Avekapelle en Lampernisse waarbij respectievelijk een ouderdom van 6.340 ± 110 j B.P. en 5.590 ± 78 j B.P. werd gevonden (DAUCHOT-DEHON e.a., 1986).

De laag K5 dateert bijgevolg van het Vroeg - Atlanticum, de laag K6 van het Laat - Atlanticum.

De kreek sedimenten van de laag K8 worden volgens de klassieke opvattingen volledig toegeschreven aan het Subatlanticum. Aangenomen wordt immers dat tijdens het Subboreaals nagenoeg de hele Kustvlakte met veen was bedekt. Dit

veenlandschap werd vervolgens aangetast tijdens de Duinkerketransgressies, onder invloed van een zich vanuit enkele inbraakpunten vertakkend geulensysteem (Tavernier, 1947). In recente literatuur, waaronder BAETEMAN (1981) wordt deze stelling tegengesproken. Volgens de nieuwe opvattingen vormden de getijdegeulen gedurende de gehele holocene periode mariene sedimentatiegebieden waarlangs de zee diep landinwaarts kon doordringen. Tijdens het Subboreaal kon in deze geulen geen veengroei geschieden. Langs deze tijdens de periode van veenvorming opengebleven inhammen en geulen drong de Subatlantische transgressie de Kustvlakte binnen, zonder daarom op grote schaal de veenlaag te eroderen.

De vergelijking van de lagenopbouw in de Avekapellekreek en deze in de laag K5 nabij de kreek toont een gelijke litologische structuur : dezelfde facies (K8,1 tot K8,4) worden op hetzelfde peil aangetroffen. Beide lagen zijn bijgevolg nauw met elkaar verbonden. Gezien de laag K5 dateert van het Atlanticum moet ook de Avekapellekreek in deze periode reeds aanwezig geweest zijn. Waarschijnlijk is juist door het voorkomen van de kreek de laag K5 zandig. Op grotere afstand, waar de invloed van de kreek zich in geringere mate liet gevoelen trad waarschijnlijk kleis sedimentatie op in lagunes, wat het kleig karakter van de laag K5 op grotere afstand van de Avekapellekreek verklaart.

De resultaten gevonden in het bestek van deze studie bevestigen dus in de eerste plaats de nieuwe opvattingen : zeker de Avekapellekreek dateert van het Atlanticum.

Een tweede argument ten voordele van de nieuwe opvattingen is het zeer geringe gehalte aan veenresten in de zandlagen van de Avekapellekreek. Een uitgesproken erosie van het oppervlakteveen zou zeker aanleiding hebben gegeven tot een hoog veengehalte in het zand.

De lagenopbouw in de Avekapellekreek is te vervolgen tot Nieuwkapelle ; er mag dan ook worden besloten dat het krekensysteem van atlantische ouderdom tot op deze plaats reikte. De kreek gaf waarschijnlijk aanleiding tot de sedimentatie van atlantische sedimenten in het gebied. Meer stroomopwaarts verandert het facies van de laag K8 echter en neemt het veengehalte sterk toe. Plaatselijk worden extreem hoge gehalten aan veenresten vastgesteld. Deze facieswisseling lijkt erop te wijzen dat de IJzerkreek stroomopwaarts Nieuwkapelle wel dateert van het Subatlanticum en in het subboreale veendek werd uitgeschuurd. Atlantische sedimenten worden trouwens niet meer aangetroffen. Het grootste deel van de IJzerkreek zou bijgevolg

wel in overeenstemming zijn met de klassieke opvattingen ; de maximale uitbreiding van het krekensysteem werd bereikt in het Subatlanticum.

Er mag worden aangenomen dat gedurende het Subatlanticum niet alle oudere sedimenten uit de Avekapellekreek werden verwijderd. Immers, de verschillende facies van de laag K8 zijn te vervolgen in de laag K5 onder het oppervlakteveen. Een deel van de zandlagen in de Avekapellekreek dateert bijgevolg zeker nog van het Atlanticum of het Subboreaal. Er kan dan ook worden gesteld dat in de IJzervlakte kreeksedimenten kunnen worden aangetroffen van atlantische tot subatlantische ouderdom.

De lagen K9 en K10 worden aangetroffen boven het oppervlakteveen ; ze dateren dan ook van het Subatlanticum.

De hierboven beschreven vaststellingen leiden tot de volgende ouderdoms-interpretatie :

laag T	=	Tertiair, Lid van Vlaanderen
laag K2	=	Holstein (en eventueel Croomer)
laag K4	=	Vroeg - Atlanticum
laag K5	=	Atlanticum
laag K6	=	Atlanticum
laag K7	=	(Laat - Atlanticum tot) Subboreaal
laag K8	=	Atlanticum tot Subatlanticum
laag K9	=	Subatlanticum
laag K10	=	Subatlanticum.

De chronostratigrafische positie van de laag K3 blijft onduidelijk ; de laag K1 is tenminste van het Holstein-interglaciaal.

3. POMPPROEVEN

3.1. Inleiding

Een belangrijk onderdeel van een hydrogeologische studie is de bepaling van de hydraulische karakteristieken van de doorlatende en slecht doorlatende lagen. De doorlatendheid van zandlagen berekend uit de korrelverdeling (par. 2.2.2.2.4.) is weinig betrouwbaar ; de nauwkeurige bepaling van de hydraulische parameters dient te gebeuren door middel van pompproeven.

Uit hoofdstuk 2 is gebleken dat de kreeksedimenten de enige uitgebreide zandlagen vormen in de IJzervlakte ; het hydrogeologisch onderzoek wordt dan ook op deze sedimenten toegespitst. Twee pompproeven werden uitgevoerd ; een dubbele pompproef in de Avekapellekreek tussen Avekapelle en Pervijze en een pompproef in de IJzerkreek ten westen van Nieuwkapelle. De dubbele pompproef in de Avekapellekreek laat toe de parameters van de verschillende facies van de laag K8 te bepalen ; de proef in de IJzerkreek had als doel de karakterisatie van het homogene zandfacies stroomopwaarts van Nieuwkapelle.

3.2. Definities

3.2.1. De doorlatendheid k

De doorlatendheid k (dimensie LT^{-1}) wordt gedefinieerd als de hoeveelheid water die per tijdseenheid en onder eenheidsverhang door een transversale eenheidssektie van het poreuze medium stroomt.

De doorlatendheid is een tensor : zijn grootte kan variëren volgens de hoofdrichtingen van een kartesisch coördinatenstelsel. In poreuze media evenwel volstaat het meestal om een horizontale en een verticale doorlatendheid in te voeren, m.a.w. $k_h = k_x = k_y$ en $k_v = k_z$.

3.2.2. Transmissiviteit of doorlaatvermogen kD

De grootte kD wordt gedefinieerd als het produkt van de horizontale doorlatendheid en de dikte van de watervoerende laag :

$$kD = k_h \cdot D \quad (L^2T^{-1}) \quad (3.1)$$

Anders uitgedrukt is het de hoeveelheid water die per tijdseenheid en onder eenheidsverhang stroomt door een sectie van eenheidsbreedte, genomen over de volledige dikte van de watervoerende laag.

Is een watervoerende laag vertikaal niet homogeen dan wordt de transmissiviteit bekomen door de horizontale doorlatendheid van elk afzonderlijk laagje met zijn dikte te vermenigvuldigen en de resultaten op te tellen :

$$kD = \sum_{i=1}^n k_i \cdot D_i \quad (3.2)$$

3.2.3. De hydraulische weerstand c

De hydraulische weerstand c (dimensie T), een eigenschap van slecht doorlatende lagen, is een maat voor de weerstand tegen verticale grondwaterstroming en wordt bij een homogene laag gedefinieerd als de verhouding tussen de dikte van de laag en haar verticale doorlatendheid. Wordt c vermenigvuldigd met de waterdoorlatende porositeit van de laag, dan geeft deze parameter de tijd aan die een waterdeeltje nodig heeft om onder eenheidsverhang deze laag vertikaal te doorstromen.

3.2.4. De elastische bergingscoëfficiënt S

De elastische bergingscoëfficiënt S (dimensieloos) is de hoeveelheid water die bij eenheidsverandering van de stijghoogte wordt afgegeven of opgenomen door een volume-element met horizontale eenheidsdoorsnede en genomen over de volledige dikte van de formatie. De specifieke elastische berging S'_A (dimensie L^{-1}) bekomt men door de bergingscoëfficiënt te delen door de dikte van de laag. S'_A is dus de hoeveelheid water die per volume-eenheid wordt opgenomen of afgegeven bij eenheidstoename of -afname van de stijghoogte.

De opname of afgave van water bij een stijging of verlaging van de druk van de poriënvloeistof is het gevolg van de uitzetting of van de samendrukbaarheid van het korrelskelet en in veel mindere mate het gevolg van de samendrukking of van de uitzetting van het water zelf.

3.2.5. De bergingskoëfficiënt nabij de watertafel S_0

De bergingskoëfficiënt nabij de watertafel S_0 (dimensieloos) is de hoeveelheid water die door de formatie wordt afgegeven of opgenomen bij daling of stijging van de watertafel met 1 m. In zandige afzettingen is hij nagenoeg gelijk aan de effectieve porositeit.

De totale bergingskoëfficiënt van een freatisch watervoerende laag wordt bekomen door de som te nemen van de bergingskoëfficiënt nabij de watertafel en de elastische bergingskoëfficiënt.

$$S = D \cdot S'_A + S_0 \quad (3.3)$$

Meestal is de bergingskoëfficiënt nabij de watertafel meerdere grootte-orde belangrijker dan de elastische bergingskoëfficiënt, zodat de eerste term van het rechterlid in bovenstaande vergelijking vaak te verwaarlozen is.

3.3. Interpretatie van pompproefgegevens met behulp van een numeriek model

3.3.1. Algemeen

Inherent aan de "klassieke" grafische interpretatiemethoden van pompproeven zijn een aantal foutenbronnen, vooral voortvloeiend uit vereenvoudigingen die worden aangenomen. Daarbij komt nog dat bij pompproeven in veellagige grondwaterreservoirs met deze methoden slechts een gedeelte van de hydraulische parameters kan worden bepaald, met name deze van de aangepompte laag. Sommige methoden leveren bovendien meerdere waarden op voor kD , c en S al naargelang van de afstand tussen de pompput en de peilbuis.

Onnauwkeurigheden te wijten aan deze tekortkomingen treden niet op wanneer het volledige grondwaterreservoir nabij de pompput en de grondwaterstromingen die erin heersen worden nagebootst met een mathematisch model. De in het bestek van deze studie uitgevoerde pompproeven werden dan ook geïnterpreteerd met behulp van een numeriek model. In een eerste fase geschiedde de interpretatie met het model "SIMTES" (LEBBE, niet gepubliceerd), in een tweede fase met het invers model "INPURE" (LEBBE, 1988).

3.3.2. Het numeriek model "SIMTES"

Het model "SIMTES" (LEBBE, niet gepubliceerd) is een aangepaste versie van het model "SIMPUM" (LEBBE, 1983). Het model is twee-dimensionaal en axiaal-symmetrisch. Vertikaal wordt het grondwaterreservoir ingedeeld in een aantal lagen, die worden gekozen naargelang van de hydrogeologische bouw. Verder wordt het reservoir verdeeld in een reeks ringen, concentrisch omheen de pompput aangebracht. De stralen van deze ringen laat men logaritmisch toenemen. Zo bekomt men een schikking van elementaire cellen waarvan de plaats kan worden weergegeven door middel van de ring en de laag waartoe de cel behoort. De verste ring wordt op een zodanig grote afstand van de pompput gebracht, dat er zeker geen verlaging meer zal optreden en waarin de stijghoogte dus vast blijft in de tijd.

Aan iedere laag wordt een waarde voor de dikte (D), de horizontale doorlatendheid (k) en de specifieke elastische berging (S'_A) toegekend. Tussen iedere laag dient een waarde voor de hydraulische weerstand (C) te worden ingevoerd. Voor iedere ring (d.w.z. op logaritmisch toenemende afstanden tot de pompput) berekent het model de evolutie van de verlagingen in de tijd. De berekeningen gebeuren door de eindigverschilmethode toe te passen op de wet van DARCY en de continuïteitswet. Het bekomen stelsel van differentiaalvergelijkingen wordt opgelost met een iteratief proces.

De berekende en de waargenomen tijd-verlagingskurven en afstand-verlagingskurven worden vergeleken. De ingevoerde hydraulische parameters moeten worden aangepast tot een voldoende overeenkomst is bereikt tussen de berekende en de waargenomen waarden. Een belangrijke hulp hierbij is het rekenprogramma "SENTES" (LEBBE, niet gepubliceerd), een aangepaste versie van het model "SENPUM" (LEBBE, 1985). Dit programma laat toe de berekende verlagingen te onderwerpen aan een gevoeligheidsanalyse. Aldus wordt aangegeven hoe de verlagingen zullen reageren op een aanpassing van een bepaalde parameter met een zekere faktor. Het spreekt vanzelf dat de verlaging, gemeten op een bepaalde plaats en een bepaald tijdstip, niet even gevoelig is voor elke ingevoerde parameter en omgekeerd.

3.3.3. Het invers model "INPURE"

Het invers model "INPURE" (LEBBE, 1988) berekent uitgaande van waargenomen stijghoogten of veranderingen van stijghoogten en gestelde randvoorwaarden de te bepalen hydraulische parameters. Door combinatie van een numeriek model met een gevoeligheidsanalyse en een niet-lineaire regressieanalyse kunnen de hydraulische parameters uit de pompproefgegevens afgeleid worden samen met hun nauwkeurigheden.

Aldus bekomt men een eenvormige interpretatietechniek waar men, bij de meest diverse opeenvolgingen van doorlatende en slecht doorlatende lagen, de waarde voor de hydraulische parameters nauwkeurig kan afleiden uit alle verlagingen waargenomen in de verschillende lagen.

Het invers model wordt bekomen door koppeling van het numerieke model aan de gevoeligheidsanalyse en een niet-lineaire regressieanalyse. Door de juiste combinatie van deze technieken kan men de hydraulische parameters bepalen waarbij de berekende verlaging zeer goed overeenkomt met de waargenomen verlaging. Uit de resterende afwijkingen en de gevoeligheden van de verlagingen voor de bepaalde hydraulische parameters kan dan de nauwkeurigheid van deze parameters afgeleid worden.

Na schematisatie van het grondwaterreservoir zoals bij het numerieke model wordt bepaald welke hydraulische parameters of groepen van parameters moeten worden afgeleid. Hiervoor wordt eerst een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Bij deze gevoeligheidsanalyse moet het aantal hydraulische parameters zoveel mogelijk beperkt worden. Door de hydraulische parameters zoveel mogelijk in groepen samen te brengen beperkt men enerzijds het aantal te bepalen parameters en verhoogt men anderzijds de gevoeligheid van de verlaging tegenover deze groep van hydraulische parameters. De gevoeligheid van de verlaging van deze groep van hydraulische parameters is bij benadering gelijk aan de som van de gevoeligheden van elke parameter afzonderlijk. Hoe groter de gevoeligheid van de verlaging voor een parameter of groep van parameters, hoe nauwkeuriger deze kan bepaald worden.

Met de resultaten van de gevoeligheidsanalyse en door de uitvoering van een linearisering kan men een rangorde opstellen in de hydraulische parameters of groepen van hydraulische parameters naargelang ze de waargenomen verlagingen

min of meer bepalen. Naargelang van de gevoeligheden kunnen drie verschillende klassen van hydraulische parameters of groepen van hydraulische parameters onderscheiden worden : een eerste klasse van parameters die de waargenomen verlagingen sterk beïnvloeden, een tweede klasse van parameters die de waargenomen verlagingen matig beïnvloeden en tenslotte een klasse van parameters die de waargenomen verlagingen weinig of niet beïnvloeden.

De hydraulische parameters die de waargenomen verlaging weinig of niet beïnvloeden kunnen niet door het invers model bepaald worden. De geschatte waarden van deze parameters moeten wel in het model ingevoerd worden. Tijdens de berekening van het invers model worden ze niet betrokken bij de gevoeligheidsanalysen en niet bij de regressieanalysen. Deze parameters blijven ongewijzigd tijdens de berekeningen. Volledigheidshalve moet op het einde van het invers model een nieuwe gevoeligheidsanalyse uitgevoerd worden waarin ook deze parameters opnieuw betrokken worden. Als de ingeschatte parameters sterk verschillen van de afgeleide parameters kunnen de geschatte hydraulische parameters die weinig of geen invloed hebben op de verlaging, een matige invloed krijgen op de verlaging bij het stelsel van met het invers model afgeleide hydraulische parameters.

Bij de aanvang van het invers model zullen alleen de hydraulische parameters of groepen van hydraulische parameters die de waargenomen verlagingen sterk beïnvloeden, betrokken worden bij de gevoeligheidsanalysen. Alleen deze hydraulische parameters worden in de opeenvolgende iteraties van het invers model gewijzigd. Nadat de som van de kwadraten van de afwijkingen geminimaliseerd is door het aanpassen van deze hydraulische parameters, kunnen dan de parameters die een matige invloed hebben op de waargenomen verlagingen betrokken worden bij de verdere minimalisatie van de som van de kwadraten van de afwijkingen. Door het volgen van deze werkwijze kan de rekentijd en het aantal iteraties van het invers model sterk beperkt worden.

Eens dat de som van de kwadraten van de afwijkingen geminimaliseerd is kan met behulp van deze som en met behulp van de gevoeligheden van de verschillende hydraulische parameters de nauwkeurigheid worden bepaald waarmee deze parameters afgeleid worden. Voor de manier waarop deze nauwkeurigheden worden bepaald wordt verwezen naar LEBBE (1988).

Tenslotte dient opgemerkt dat bij de opeenvolgende iteraties de korrelatiematrix telkens moet gecontroleerd worden. Benadert één van de niet-diagonale termen van deze matrix de waarde 1 of -1 dan bestaat een onderling verband tussen de gevoeligheden van de verlagingen tegenover de overeenkomstige hydraulische parameters. Verschillende combinaties van waarden van hydraulische parameters zullen dan resulteren in dezelfde verlagingen op dezelfde tijden en dezelfde afstanden als degene die ingevoerd zijn in het invers model. De hydraulische parameters zijn dan niet identificeerbaar. Zonder bijkomende gegevens over één van deze hydraulische parameters is de oplossing van het invers model niet uniek. Aanvulling van de ingevoerde verlagingen met verlagingen op andere plaatsen en tijden kan er eveneens toe leiden dat de oplossing van het invers model uniek wordt.

3.4. De dubbele pompproef in de Avekapellekreek

3.4.1. Geologische gesteldheid op de plaats van de pompproef

De geologische gesteldheid op de plaats van de pompproef kan worden afgeleid uit de litostratigrafische doorsnede in figuur 3.1. . Het ondoorlatend substraat wordt er gevormd door de laag K3 welke rust op het tertiair substraat. De top van de laag ligt op het peil -20,5.

Hierop rusten twee doorlatende en twee slecht doorlatende lagen ; de eerste drie lagen behoren tot de litologische eenheid K8, de bovenste slecht doorlatende laag tot de eenheid K10.

De onderste doorlatende laag (facies K8,2,1) is samengesteld uit fijn tot middelmatig zand ; de dikte bedraagt 8,80 m. Ze is bedekt door een slecht doorlatende laag (facies K8,2,2) bestaande uit een afwisseling van fijn zand en klei - en veenlaagjes. Deze laag bereikt een dikte van 4,0 m en is begrepen tussen de peilen -11,7 en -7,7. Daarboven komt een doorlatende laag voor opgebouwd uit drie zones met een verschillende samenstelling. De onderste zone (facies K8,2,1), tussen de peilen -7,7 en -3,7, bestaat uit fijn zand met tamelijk veel organisch materiaal. Tussen de peilen -3,7 en +0,3 komt middelmatig tot grof zand (facies K8,3) voor met zeer veel schelpgruis en met enkele verspreide kleibrokjes. De derde zone is gelegen tussen de peilen +0,3 en +2,6 en is samengesteld uit fijn zand met leembrokjes (facies K8,4). De top van de kwartaire afzettingen wordt gevormd door een slecht doorlatende laag uit kleihoudend fijn zand en klei (laag K10).

Bij de uitvoering van de pompproef bevond de watertafel zich in de top van de bovenste doorlatende laag. In perioden met hoge grondwaterstanden kan de watertafel zich evenwel in de laag K10 bevinden.

3.4.2. Vorbereiding en uitvoering van de dubbele pompproef

Met het oog op de pompproef werden twee pompputten en 8 peilbuizen geplaatst. De ligging van de pompputten en peilbuizen is weergegeven in figuur 3.1. . De boorgaten van de pompputten werden gespoeld met een diameter van 120 mm, deze van de peilbuizen met een diameter van 90 mm.

De pompput in de onderste doorlatende laag (PP1) werd voorzien van een filterelement over de volledige dikte van deze laag. De pompput in de bovenste doorlatende laag (PP2) vertoont slechts een filterelement ter hoogte van de middenste grofkorrelige zone.

Alle peilbuizen zijn uitgerust met een filterelement van 1 m lengte. De peilbuizen PB1, PB2 en PB3 bevinden zich in de onderste doorlatende laag , de peilbuizen PB4, PB5 en PB6 in de bovenste doorlatende laag, in de zone aangepompt door de pompput PP2. De peilbuis PB7 is geplaatst in de onderste zone van de bovenste doorlatende laag ; de peilbuis PB8 bevindt zich net onder de watertafel.

Zowel de filterelementen van de pompputten als van de peilbuizen werden omstort met gekalibreerd grof zand (0,7/0,9 mm). Ter hoogte van de slecht doorlatende lagen werd een kleistop aangebracht.

Voor de ondiepe pompproef (pompput PP2) ving de bemaling aan op 3 juli 1986, voor de diepe pompproef (pompput PP1) op 3 september 1986, telkens om 10.30 h. De pompproef werd steeds na 24 h beëindigd. Er werd gepompt met een bovengrondse pomp, type WAVO. Het opgepompte water werd door middel van een afvoerleiding verwijderd uit de invloedssfeer van de pompproeven.

Het opgepompte debiet werd regelmatig gemeten ; het bedroeg voor de beide pompproeven respektievelijk 183 en 166 m³/h.

3.4.3. Schematisering van het grondwaterreservoir in het numeriek model

Met het oog op de simulatie van de pompproeven met een numeriek model werd het grondwaterreservoir in 6 lagen onderverdeeld. Laag 1 wordt gevormd door de onderste doorlatende laag ; ze wordt aangepompt door de pompput PP1. Laag 2 is de erop rustende slecht doorlatende laag. Laag 3 en laag 4 stemmen respectievelijk overeen met de onderste en de middenste zone van de bovenste doorlatende laag. De bovenste zone van laatstgenoemde laag wordt in het numeriek model opgesplitst in laag 5 en laag 6, waarbij laag 6 een dunne laag net onder de watertafel vertegenwoordigt.

De schematisering van het grondwaterreservoir is eveneens voorgesteld op figuur 3.1. .

3.4.4. Interpretatie van de pompproefgegevens

3.4.4.1. Interpretatie met het numeriek model

De tijdens de pompproef opgetekende verlagingen werden in een eerste fase geïnterpreteerd met het model "SIMTES" (LEBBE, niet gepubliceerd). De aan iedere laag toegekende waarden voor de hydraulische parameters bij de eerste simulatie (tabel 3.1) werden afgeleid uit deze bekomen met de klassieke grafische interpretatiemethoden (WALTON, HANTUSH I en DE GLEE) of werden geschat aan de hand van resultaten uit andere pompproeven.

Uitgaande van deze parameters werden opeenvolgende simulaties uitgevoerd, waarbij de parameters steeds werden aangepast.

De interpretatie van de dubbele pompproef bleek niet eenvoudig ; een volledige overeenstemming tussen de pompproef in de onderste doorlatende laag (PP1) enerzijds en die in de bovenste doorlatende laag (PP2) anderzijds werd slechts na een groot aantal simulaties bereikt. Hierbij diende voor de pompproef in de onderste doorlatende laag een relatief grote afwijking tussen de berekende en de waargenomen verlagingen voor de bovenste lagen te worden getolereerd.

Tabel 3.1. Aanvangswaarden van de hydraulische parameters van de onderscheiden lagen, ingevoerd in het mathematisch model "SIMTES"

Laag	dikte (m)	k_h (m/d)	S'_A ($\times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$)	S_0	c (d)
L6	0,5	5,0	0,16	0,20	50
L5	2,0	5,0	0,16		25
L4	4,0	14,0	0,16		25
L3	4,0	10,0	0,16		100
L2	4,0	1,0	0,16		100
L1	8,8	10,0	0,16		

Na herhaalde simulaties van de pompproef, steeds met aangepaste (verbeterde) hydraulische parameters en na meerdere gevoeligheidsanalyses, werd de beste overeenkomst tussen de gemeten en de berekende verlagingen bekomen bij invoer van de waarden die zijn opgenomen in tabel 3.2. De afwijkingen tussen de waargenomen en berekende verlagingen zijn gegeven in tabel 3.3 ; de tijd-verlagings- en afstand-verlagingskurven in figuur 3.2. .

Tabel 3.2. Hydraulische parameters van de onderscheiden lagen in het mathematisch model "SIMTES"

Laag	dikte (m)	k_h (m/d)	S'_A ($\times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$)	S_0	c (d)
L6	0,5	5,0	6,30	0,025	50
L5	2,0	5,0	6,30		5
L4	4,0	12,5	1,30		4
L3	4,0	5,0	0,70		7
L2	4,0	2,5	6,30		7
L1	8,8	8,0	0,56		

Tabel 3.3. - Logarithmische waarden van berekende en waargenomen verlagingen samen met hun onderlinge verschillen overeenkomstig de hydraulische parameters ingevoerd in het numerieke model bij de laatste interpretatiefase van de dubbele pompproef te Avekapelle. Pompproef 1

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN M, -----					0.100	OBSERVATION WELL 2 IN LAYER 1 AT 10.0M OF PUMPED WELL				
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M3/DAY, -----					166.000	OBSERVATION	TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
INITIAL TIME, T1, IN MIN, -----					0.100	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS						1	1.00	-0.7846	-0.8327	0.0481
LOGA, -----					0.100	2	2.00	-0.5957	-0.6596	0.0639
LATEST CALCULATED TIME, T2, IN MIN, -----					1600.	3	3.00	-0.5234	-0.5867	0.0633
NUMBER OF LAYERS, N, -----					6	4	4.00	-0.4833	-0.5421	0.0588
NUMBER OF RINGS, M, -----					43	5	5.00	-0.4581	-0.5058	0.0477
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER -----					1	6	6.00	-0.4408	-0.4895	0.0487
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN M						7	8.00	-0.4169	-0.4597	0.0428
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER						8	10.00	-0.4011	-0.4389	0.0378
THICKNESS OF LAYER 1, IN M, -----					8.800	9	12.50	-0.3866	-0.4191	0.0325
THICKNESS OF LAYER 2, IN M, -----					4.000	10	16.00	-0.3712	-0.3990	0.0278
THICKNESS OF LAYER 3, IN M, -----					4.000	11	20.00	-0.3574	-0.3851	0.0277
THICKNESS OF LAYER 4, IN M, -----					4.000	12	25.00	-0.3434	-0.3706	0.0272
THICKNESS OF LAYER 5, IN M, -----					2.000	13	32.00	-0.3278	-0.3556	0.0277
THICKNESS OF LAYER 6, IN M, -----					0.500	14	40.00	-0.3138	-0.3401	0.0262
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(1), IN M/DAY, -----					8.000	15	50.00	-0.3002	-0.3242	0.0240
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(2), IN M/DAY, -----					2.500	16	63.00	-0.2866	-0.3063	0.0197
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(3), IN M/DAY, -----					5.000	17	80.00	-0.2731	-0.2924	0.0193
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(4), IN M/DAY, -----					12.500	18	100.00	-0.2612	-0.2815	0.0203
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(5), IN M/DAY, -----					5.000	19	125.00	-0.2500	-0.2676	0.0176
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(6), IN M/DAY, -----					5.000	20	160.00	-0.2384	-0.2541	0.0157
HYDRAULIC RESISTANCE, C(1), IN DAY, -----					7.	21	200.00	-0.2289	-0.2441	0.0152
HYDRAULIC RESISTANCE, C(2), IN DAY, -----					7.	22	250.00	-0.2203	-0.2336	0.0133
HYDRAULIC RESISTANCE, C(3), IN DAY, -----					4.	23	320.00	-0.2119	-0.2233	0.0114
HYDRAULIC RESISTANCE, C(4), IN DAY, -----					5.	24	401.75	-0.2052	-0.2069	0.0017
HYDRAULIC RESISTANCE, C(5), IN DAY, -----					50.	25	501.50	-0.1995	-0.1945	-0.0050
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(1), IN M-1, -----					0.56D-04	26	633.00	-0.1944	-0.1831	-0.0113
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(2), IN M-1, -----					0.63D-03	27	804.00	-0.1895	-0.1785	-0.0110
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(3), IN M-1, -----					0.70D-04	28	1008.00	-0.1852	-0.1720	-0.0132
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(4), IN M-1, -----					0.13D-03	29	1252.00	-0.1811	-0.1720	-0.0091
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(5), IN M-1, -----					0.63D-03	30	1442.00	-0.1782	-0.1656	-0.0126
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(6), IN M-1, -----					0.63D-03	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S0, -----					0.025000	12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
						STANDARD DEVIATION -----				
						MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
						18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
						STANDARD DEVIATION -----				
						MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 2 -----				
						STANDARD DEVIATION -----				
</										

Tabel 3.3. - Vervolg - Pompproof 1

OBSERVATION WELL 4 IN LAYER 4 AT 10.9M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
OBSERVATION	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
1	20.00	-1.5734	-1.7959	0.2224
2	25.00	-1.4559	-1.6576	0.2017
3	32.00	-1.3386	-1.4437	0.1051
4	40.00	-1.2432	-1.3565	0.1134
5	50.00	-1.1578	-1.2441	0.0863
6	63.00	-1.0796	-1.1549	0.0753
7	80.00	-1.0093	-1.0809	0.0717
8	100.00	-0.9522	-1.0177	0.0655
9	125.00	-0.9032	-0.9586	0.0554
10	160.00	-0.8569	-0.8996	0.0428
11	200.00	-0.8211	-0.8601	0.0390
12	250.00	-0.7904	-0.8327	0.0423
13	323.50	-0.7608	-0.7905	0.0297
14	407.50	-0.7383	-0.7447	0.0065
15	503.25	-0.7205	-0.7077	-0.0128
16	638.50	-0.7029	-0.6737	-0.0292
17	807.00	-0.6866	-0.6536	-0.0330
18	1013.00	-0.6718	-0.6498	-0.0221
19	1253.50	-0.6576	-0.6383	-0.0193
20	1453.50	-0.6472	-0.6308	-0.0164
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
2 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.2121
STANDARD DEVIATION				0.0147
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0333
STANDARD DEVIATION				0.0478
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 4				0.0512
STANDARD DEVIATION				0.0713
OBSERVATION WELL 5 IN LAYER 4 AT 15.5M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
OBSERVATION	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
1	22.00	-1.5671	-1.7696	0.2024
2	27.00	-1.4586	-1.6198	0.1612
3	34.00	-1.3480	-1.5086	0.1606
4	42.00	-1.2564	-1.3565	0.1001
5	52.00	-1.1733	-1.2840	0.1107
6	65.00	-1.0964	-1.1805	0.0841
7	82.00	-1.0265	-1.1024	0.0758
8	102.00	-0.9695	-1.0177	0.0483
9	127.00	-0.9199	-0.9747	0.0548
10	162.00	-0.8732	-0.9245	0.0512
11	202.00	-0.8369	-0.8894	0.0525
12	252.00	-0.8055	-0.8508	0.0453
13	324.00	-0.7759	-0.8041	0.0282
14	405.30	-0.7534	-0.7620	0.0086
15	504.00	-0.7345	-0.7212	-0.0133
16	637.00	-0.7167	-0.6861	-0.0306
17	808.00	-0.6997	-0.6655	-0.0342
18	1012.00	-0.6847	-0.6556	-0.0291
19	1254.50	-0.6700	-0.6536	-0.0164
20	1445.00	-0.6599	-0.6383	-0.0216
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
2 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.1818
STANDARD DEVIATION				0.0292
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0375
STANDARD DEVIATION				0.0559
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 5				0.0519
STANDARD DEVIATION				0.0694
OBSERVATION WELL 6 IN LAYER 4 AT 25.2M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
OBSERVATION	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
1	42.00	-1.3490	-1.4949	0.1458
2	52.00	-1.2571	-1.3979	0.1408
3	65.00	-1.1721	-1.2676	0.0955
4	82.00	-1.0950	-1.1871	0.0921
5	102.00	-1.0321	-1.0969	0.0648
6	127.00	-0.9775	-1.0757	0.0982
7	162.00	-0.9262	-1.0223	0.0961
8	202.00	-0.8865	-0.9318	0.0454
9	252.00	-0.8521	-0.9031	0.0509
10	323.00	-0.8202	-0.8416	0.0215
11	404.50	-0.7955	-0.7905	-0.0050
12	504.75	-0.7748	-0.7447	-0.0300
13	636.00	-0.7558	-0.7212	-0.0345
14	809.50	-0.7374	-0.6861	-0.0512
15	1011.00	-0.7215	-0.6840	-0.0374
16	1255.00	-0.7056	-0.6737	-0.0320
17	1444.00	-0.6949	-0.6635	-0.0313
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 6 OF				
17 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0370
STANDARD DEVIATION				0.0669
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 6				0.0370
STANDARD DEVIATION				0.0669
OBSERVATION WELL 7 IN LAYER 3 AT 4.9M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
OBSERVATION	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
1	7.20	-1.6289	-1.8239	0.1950
2	9.00	-1.5079	-1.6576	0.1497
3	11.00	-1.4078	-1.4815	0.0737
4	14.00	-1.2984	-1.3768	0.0784
5	18.00	-1.1961	-1.2518	0.0557
6	22.00	-1.1225	-1.1871	0.0646
7	27.25	-1.0512	-1.1192	0.0680
8	34.00	-0.9848	-1.0458	0.0610
9	42.00	-0.9276	-0.9788	0.0512
10	52.00	-0.8757	-0.9393	0.0636
11	65.00	-0.8272	-0.8928	0.0656
12	82.00	-0.7824	-0.8508	0.0684
13	102.00	-0.7452	-0.8013	0.0562
14	127.00	-0.7121	-0.7932	0.0811
15	162.00	-0.6802	-0.7375	0.0573
16	202.00	-0.6550	-0.7100	0.0549
17	252.00	-0.6329	-0.6840	0.0511
18	322.00	-0.6123	-0.6478	0.0355
19	401.00	-0.5963	-0.6198	0.0235
20	500.00	-0.5826	-0.5918	0.0092
21	631.50	-0.5698	-0.5686	-0.0012
22	800.00	-0.5578	-0.5513	-0.0065
23	1007.00	-0.5469	-0.5513	0.0044
24	1250.00	-0.5364	-0.5421	0.0057
25	1440.30	-0.5291	-0.5317	0.0025
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 7 OF				
7 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0979
STANDARD DEVIATION				0.0530
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 7 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0380
STANDARD DEVIATION				0.0288
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 7				0.0547
STANDARD DEVIATION				0.0452
OBSERVATION WELL 8 IN LAYER 5 AT 5.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
OBSERVATION	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
1	408.30	-0.7833	-0.9031	0.1198
2	502.00	-0.7637	-0.8601	0.0964
3	640.00	-0.7433	-0.8182	0.0749
4	806.00	-0.7246	-0.7852	0.0605
5	1014.00	-0.7070	-0.7825	0.0755
6	1253.00	-0.6901	-0.7721	0.0820
7	1446.50	-0.6781	-0.7545	0.0764
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 8 OF				
7 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0836
STANDARD DEVIATION				0.0192
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 8				0.0836
STANDARD DEVIATION				0.0192
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS				0.0317
STANDARD DEVIATION				0.0646
MEAN OF DEVIATIONS OF 90 OBSERVATIONS IN LAYER 1				0.0115
STANDARD DEVIATION				0.0624
MEAN OF DEVIATIONS OF 25 OBSERVATIONS IN LAYER 3				0.0547
STANDARD DEVIATION				0.0452
MEAN OF DEVIATIONS OF 57 OBSERVATIONS IN LAYER 4				0.0472
STANDARD DEVIATION				0.0684
MEAN OF DEVIATIONS OF 7 OBSERVATIONS IN LAYER 5				0.0836
STANDARD DEVIATION				0.0192

Tabel 3.3. - Vervolg - Pompproef 2

RADIUS OF WELLSCREEN,R,IN M,-----					0.100	OBSERVATION WELL 3 IN LAYER 1 AT 26.0M OF PUMPED WELL				
DISCHARGE OF PUMPED WELL,Q,IN M3/DAY,-----					183.000	OBSERVATION	TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
INITIAL TIME,T1,IN MIN,-----					0.100	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS						1	34.00	-1.4230	-1.3468	-0.0762
LOGA,-----					0.100	2	42.00	-1.3200	-1.2366	-0.0834
LATEST CALCULATED TIME,T2,IN MIN,-----					1600.	3	52.00	-1.2266	-1.1612	-0.0654
NUMBER OF LAYERS,N,-----					6	4	65.00	-1.1403	-1.0915	-0.0488
NUMBER OF RINGS,M,-----					43	5	82.00	-1.0620	-1.0315	-0.0305
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER-----					4	6	102.00	-0.9982	-0.9666	-0.0316
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS,IN M						7	127.00	-0.9428	-0.9136	-0.0291
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER						8	162.00	-0.8907	-0.8665	-0.0242
THICKNESS OF LAYER 1,IN M,-----					8.800	9	202.00	-0.8503	-0.8268	-0.0235
THICKNESS OF LAYER 2,IN M,-----					4.000	10	252.00	-0.8157	-0.7852	-0.0306
THICKNESS OF LAYER 3,IN M,-----					4.000	11	326.00	-0.7822	-0.7471	-0.0350
THICKNESS OF LAYER 4,IN M,-----					4.000	12	403.80	-0.7584	-0.7235	-0.0349
THICKNESS OF LAYER 5,IN M,-----					2.000	13	505.50	-0.7370	-0.6968	-0.0402
THICKNESS OF LAYER 6,IN M,-----					0.500	14	633.00	-0.7184	-0.6840	-0.0343
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(1),IN M/DAY,-----					8.000	15	806.30	-0.6999	-0.6556	-0.0443
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(2),IN M/DAY,-----					2.500	16	1004.50	-0.6839	-0.6421	-0.0418
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(3),IN M/DAY,-----					5.000	17	1254.30	-0.6676	-0.6253	-0.0424
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(4),IN M/DAY,-----					12.500	18	1444.00	-0.6566	-0.6073	-0.0493
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(5),IN M/DAY,-----					5.000	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF				
HYDRAULIC CONDUCTIVITY,K(6),IN M/DAY,-----					5.000	18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
HYDRAULIC RESISTANCE,C(1),IN DAY,-----					7.	STANDARD DEVIATION				
HYDRAULIC RESISTANCE,C(2),IN DAY,-----					7.	MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3				
HYDRAULIC RESISTANCE,C(3),IN DAY,-----					4.	STANDARD DEVIATION				
HYDRAULIC RESISTANCE,C(4),IN DAY,-----					5.					
HYDRAULIC RESISTANCE,C(5),IN DAY,-----					50.					
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(1),IN M-1,-----					0.56D-04	OBSERVATION WELL 4 IN LAYER 4 AT 5.0M OF PUMPED WELL				
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(2),IN M-1,-----					0.63D-03	OBSERVATION	TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(3),IN M-1,-----					0.70D-04	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(4),IN M-1,-----					0.13D-03	1	1.25	-0.3245	-0.4622	0.1377
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(5),IN M-1,-----					0.63D-03	2	2.00	-0.2624	-0.3696	0.1072
SPECIFIC ELASTIC STORAGE,SA(6),IN M-1,-----					0.63D-03	3	3.00	-0.2237	-0.3161	0.0924
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE,S0,-----					0.025000	4	4.00	-0.2013	-0.2815	0.0802
						5	5.00	-0.1863	-0.2596	0.0733
						6	6.00	-0.1751	-0.2396	0.0645
						7	8.00	-0.1583	-0.2168	0.0585
						8	10.00	-0.1458	-0.1993	0.0535
						9	12.50	-0.1335	-0.1818	0.0482
						10	16.00	-0.1201	-0.1681	0.0480
						11	20.00	-0.1083	-0.1561	0.0478
						12	25.00	-0.0970	-0.1445	0.0475
						13	32.00	-0.0852	-0.1337	0.0486
						14	40.25	-0.0749	-0.1244	0.0494
						15	50.00	-0.0660	-0.1146	0.0486
						16	63.00	-0.0572	-0.1096	0.0524
						17	80.00	-0.0487	-0.1018	0.0531
						18	100.00	-0.0414	-0.0947	0.0534
						19	125.00	-0.0345	-0.0878	0.0532
						20	160.00	-0.0275	-0.0773	0.0498
						21	200.00	-0.0216	-0.0752	0.0536
						22	250.00	-0.0161	-0.0701	0.0539
						23	320.00	-0.0107	-0.0650	0.0543
						24	400.00	-0.0061	-0.0605	0.0543
						25	502.00	-0.0019	-0.0550	0.0532
						26	630.00	0.0023	-0.0545	0.0568
						27	800.00	0.0067	-0.0491	0.0558
						28	1000.00	0.0108	-0.0472	0.0580
						29	1250.50	0.0153	-0.0443	0.0590
						30	1444.00	0.0184	-0.0410	0.0594
						MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
						12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
						STANDARD DEVIATION				
						MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
						18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
						STANDARD DEVIATION				
						MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 4				
						STANDARD DEVIATION				

Tabel 3.3. - Vervolg - Pompproef 2

OBSERVATION WELL 5 IN LAYER 4 AT 10.0M OF PUMPED WELL					OBSERVATION WELL 7 IN LAYER 3 AT 5.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN(M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN(M)	LOG. DIF. DRAWDOWN	OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN(M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN(M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	1.00	-0.8234	-0.8894	0.0660	1	7.00	-0.5715	-0.6162	0.0447
2	2.00	-0.6204	-0.6556	0.0352	2	9.00	-0.5439	-0.5702	0.0264
3	3.20	-0.5369	-0.5622	0.0253	3	11.00	-0.5227	-0.5376	0.0149
4	4.00	-0.5061	-0.5129	0.0068	4	14.00	-0.4975	-0.5045	0.0069
5	5.00	-0.4792	-0.4763	-0.0029	5	18.00	-0.4715	-0.4750	0.0034
6	6.00	-0.4595	-0.4486	-0.0109	6	22.50	-0.4488	-0.4498	0.0010
7	8.00	-0.4303	-0.4112	-0.0192	7	27.00	-0.4306	-0.4342	0.0035
8	10.00	-0.4090	-0.3830	-0.0260	8	34.00	-0.4086	-0.4145	0.0060
9	12.50	-0.3883	-0.3615	-0.0268	9	42.00	-0.3894	-0.3979	0.0085
10	16.00	-0.3659	-0.3382	-0.0277	10	52.00	-0.3713	-0.3809	0.0096
11	20.00	-0.3463	-0.3188	-0.0275	11	65.00	-0.3536	-0.3655	0.0119
12	25.00	-0.3276	-0.3045	-0.0231	12	82.00	-0.3367	-0.3516	0.0150
13	32.20	-0.3080	-0.2865	-0.0214	13	102.00	-0.3220	-0.3382	0.0162
14	40.00	-0.2923	-0.2733	-0.0191	14	127.00	-0.3085	-0.3279	0.0194
15	50.00	-0.2776	-0.2636	-0.0140	15	162.00	-0.2950	-0.3143	0.0192
16	63.00	-0.2636	-0.2510	-0.0126	16	202.00	-0.2839	-0.3054	0.0215
17	80.00	-0.2503	-0.2403	-0.0099	17	252.00	-0.2738	-0.2950	0.0212
18	100.00	-0.2388	-0.2291	-0.0096	18	322.30	-0.2639	-0.2848	0.0210
19	125.00	-0.2281	-0.2211	-0.0070	19	401.00	-0.2559	-0.2765	0.0206
20	160.00	-0.2173	-0.2118	-0.0054	20	507.80	-0.2482	-0.2668	0.0186
21	200.00	-0.2082	-0.2027	-0.0055	21	636.80	-0.2412	-0.2636	0.0224
22	250.00	-0.1999	-0.1952	-0.0048	22	804.50	-0.2341	-0.2565	0.0224
23	320.80	-0.1916	-0.1864	-0.0052	23	1009.30	-0.2273	-0.2534	0.0261
24	401.80	-0.1847	-0.1772	-0.0076	24	1258.50	-0.2202	-0.2510	0.0308
25	502.50	-0.1784	-0.1733	-0.0051	25	1442.50	-0.2155	-0.2441	0.0286
26	630.80	-0.1723	-0.1707	-0.0016	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 7 OF				
27	801.50	-0.1658	-0.1630	-0.0027	7 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
28	1001.00	-0.1597	-0.1618	0.0021	STANDARD DEVIATION				
29	1252.30	-0.1531	-0.1555	0.0024	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 7 OF				
30	1441.00	-0.1487	-0.1512	0.0025	18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF					STANDARD DEVIATION				
12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 7				
STANDARD DEVIATION					STANDARD DEVIATION				
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF					OBSERVATION WELL 8 IN LAYER 5 AT 5.1M OF PUMPED WELL				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN(M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN(M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
STANDARD DEVIATION					1	14.00	-0.4401	-0.3325	-0.1076
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 5					2	18.00	-0.3942	-0.3143	-0.0799
STANDARD DEVIATION					3	22.00	-0.3633	-0.2924	-0.0708
					4	27.00	-0.3364	-0.2757	-0.0607
					5	34.00	-0.3112	-0.2581	-0.0531
					6	42.00	-0.2918	-0.2480	-0.0438
					7	52.00	-0.2751	-0.2381	-0.0370
					8	65.00	-0.2601	-0.2255	-0.0347
					9	82.00	-0.2465	-0.2111	-0.0354
					10	102.00	-0.2349	-0.1993	-0.0356
					11	127.00	-0.2243	-0.1938	-0.0305
					12	162.00	-0.2136	-0.1838	-0.0298
					13	202.00	-0.2045	-0.1772	-0.0274
					14	252.00	-0.1961	-0.1707	-0.0254
					15	328.50	-0.1869	-0.1624	-0.0245
					16	406.50	-0.1799	-0.1543	-0.0256
					17	508.80	-0.1729	-0.1500	-0.0229
					18	635.50	-0.1660	-0.1463	-0.0197
					19	809.50	-0.1582	-0.1337	-0.0245
					20	1007.50	-0.1510	-0.1314	-0.0197
					21	1257.30	-0.1431	-0.1864	0.0433
					22	1446.50	-0.1376	-0.1325	-0.0051
					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 8 OF				
					4 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
					STANDARD DEVIATION				
					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 8 OF				
					18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
					STANDARD DEVIATION				
					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 8				
					STANDARD DEVIATION				
					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS				
					STANDARD DEVIATION				
					MEAN OF DEVIATIONS OF 53 OBSERVATIONS IN LAYER 1				
					STANDARD DEVIATION				
					MEAN OF DEVIATIONS OF 25 OBSERVATIONS IN LAYER 3				
					STANDARD DEVIATION				
					MEAN OF DEVIATIONS OF 90 OBSERVATIONS IN LAYER 4				
					STANDARD DEVIATION				
					MEAN OF DEVIATIONS OF 22 OBSERVATIONS IN LAYER 5				
					STANDARD DEVIATION				

Slechts 6 parameters konden met grote nauwkeurigheid worden bepaald : de doorlatendheden van de aangepompte lagen (k_{h1} en k_{h4}), de bergingscoëfficiënt van de onderste doorlatende laag (S'_{A1}), de weerstand van de onderste slecht doorlatende laag ($c_1 + c_2$) en de weerstand tussen de onderste en de middenste zone van de bovenste doorlatende laag (c_3). De overige parameters kunnen enkel als richtinggevend worden beschouwd. Ze werden zo goed mogelijk bepaald en daar ze, in combinatie met de nauwkeurige parameters, de beste overeenstemming geven met de werkelijke toestand zijn ze toch beduidend.

3.4.4.2. Interpretatie met het invers model "INPURE"

De afwijkingen tussen de berekende en de waargenomen verlagingen werden vervolgens verder geminimaliseerd met behulp van het invers model "INPURE" (LEBBE, 1988). Dertien verschillende hydraulische parameters of groepen van parameters worden hierbij als te bepalen beschouwd :

- de horizontale doorlatendheid van de aangepompte lagen k_{h1} en k_{h4} ;
- de specifieke elastische berging van de aangepompte lagen S'_{A1} en S'_{A4} ;
- een groep met de horizontale doorlatendheden van de overige lagen, waarbij wordt gesteld dat $k_{h3} = k_{h5} = k_{h6} = 2 \cdot k_{h2}$;
- een groep met de hydraulische weerstanden tussen laag 1 en laag 2 enerzijds en tussen laag 2 en laag 3 anderzijds. Daar er geen verlagingen werden opgemeten in de laag 2 kunnen de weerstanden c_1 en c_2 aan elkaar gelijk worden gesteld ;
- een groep met de specifieke elastische bergingen van de lagen 5 en 6, welke gelijk aan elkaar worden verondersteld ;
- de overige hydraulische parameters, welke ieder afzonderlijk worden bepaald : c_3 , c_4 , c_5 , S'_{A2} , S'_{A3} en S_0 .

De minimalisatie van de afwijkingen geschiedde in verschillende fasen. In de eerste fase werd gestart met de hydraulische parameters gevonden met het model "SIMTES" (tabel 3.2). Alle waargenomen verlagingen, 411 in aantal, werden in rekening gebracht. Bij de interpretatie met het model "SIMTES" werden relatief grote afwijkingen tussen de waargenomen en de berekende verlagingen getolereerd voor de bovenste lagen bij de pompproef in de onderste watervoerende laag. Door deze grote afwijkingen is de standaardafwijking van de 411 afwijkingen gelijk aan 0,1007 (tabel 3.4).

Tabel 3.4. Waarden en nauwkeurigheidsfactoren van de hydraulische parameters afgeleid bij de opeenvolgende interpretatiefasen met het invers model "INPURE" van de pompproef te Avekapelle.

Hydraulische parameters	1 ^{ste} fase	2 ^{de} fase		3 ^{de} fase		4 ^{de} fase		5 ^{de} fase	
	waarde	waarde	Cf 98	waarde	Cf 98	waarde	Cf 98	waarde	Cf 98
k _h 1	8,0	10,62	1,0380	11,23	1,0307	11,34	1,0252	11,42	1,0224
k _h 2	2,5	1,93	1,1603	1,98	1,1377	2,26	1,0934	2,35	1,0756
k _h 3	5,0	3,86	1,1603	3,96	1,1377	4,52	1,0934	4,70	1,0756
k _h 4	12,5	17,54	1,0307	19,24	1,0374	19,58	1,0296	19,89	1,0246
k _h 5	5,0	3,86	1,1603	3,96	1,1377	4,52	1,0934	4,70	1,1957
k _h 6	5,0	3,86	1,1603	3,96	1,1377	4,52	1,0934	4,70	1,1957
c 1	7	11,56	1,0521	13,07	1,0279	13,14	1,0246	13,31	1,0229
c 2	7	11,56	1,0521	13,07	1,0279	13,14	1,0246	13,31	1,0229
c 3	4	5,68	1,1373	5,85	1,1476	5,42	1,1209	5,49	1,1129
c 4	5	8,50	1,0974	7,86	1,1189	6,48	1,3148	6,06	1,0973
c 5	50	95,00	1,2803	73,50	1,4037	154,00	1,1909	267,00	1,2232
S'A 1	5,6.10 ⁻⁵	5,46.10 ⁻⁵	1,1547	5,58.10 ⁻⁵	1,0979	5,61.10 ⁻⁵	1,0411	5,63.10 ⁻⁵	1,0856
S'A 2	6,3.10 ⁻⁴	3,5.10 ⁻⁴	1,1088	2,07.10 ⁻⁴	1,1595	1,73.10 ⁻⁴	1,0746	1,74.10 ⁻⁴	1,0658
S'A 3	7,0.10 ⁻⁵	1,6.10 ⁻⁵	4,9035	7,34.10 ⁻⁵	1,4335	8,30.10 ⁻⁵	1,1197	4,88.10 ⁻⁵	1,2231
S'A 4	1,3.10 ⁻⁴	1,55.10 ⁻⁴	1,1478	1,61.10 ⁻⁴	1,0797	1,60.10 ⁻⁴	1,0653	1,61.10 ⁻⁴	1,0962
S'A 5-6	1,3.10 ⁻⁴	4,54.10 ⁻⁴	1,2935	1,10.10 ⁻⁴	1,5279	8,40.10 ⁻⁵	1,5683	1,34.10 ⁻⁴	2,4065
S ₀	0,025	0,0032	1,2208	0,0017	1,1708	0,00168	1,2867	0,00192	1,4737
N	411	399		391		381		375	
σ	0,1007	0,05792		0,04672		0,03650		0,03272	

In een tweede fase werden de afwijkingen geminimaliseerd met behulp van het invers model. Met het oog hierop werden enkel de verlagingen in rekening gebracht welke groter waren dan 1 cm en welke werden waargenomen vanaf 1 minuut na het starten van de pomp. Op deze wijze werden nog 399 waarden ingevoerd in het invers model.

De afgeleide hydraulische parameters staan samen met hun nauwkeurigheidsfactoren vermeld in tabel 3.4. De grootste afwijkingen tussen de berekende en de waargenomen verlagingen worden vastgesteld bij de pompproef in de onderste doorlatende laag, in het eerste gedeelte van de tijd-verlagingslijn in de lagen L4 en L5. Door deze grote afwijkingen blijft de som van de kwadraten van de afwijkingen relatief groot, waardoor de standaardafwijking van de 399 afwijkingen nog steeds 0,05792 bedraagt.

De nauwkeurigheidsfactoren van de horizontale doorlatendheden van de aangepompte lagen k_{h1} en k_{h4} zijn het kleinst, d.w.z. dat deze parameters het nauwkeurigst zijn afgeleid. Nog vier andere parameters of groepen van parameters hebben kleine nauwkeurigheidsfactoren. Het zijn de hydraulische weerstanden tussen de aangepompte lagen $c_1 + c_2$ en c_3 en de specifieke elastische berging van de aangepompte lagen S'_{A1} en S'_{A4} . De andere hydraulische parameters hebben grotere nauwkeurigheidsfactoren.

Bij de derde interpretatiefase werden de waarnemingen uitgesloten waarvan de afwijking meer dan driemaal de standaardafwijking van alle afwijkingen bij de tweede interpretatiefase bedroeg. Met de overblijvende 391 waarnemingen werd de som van de kwadraten van de afwijkingen verder geminimaliseerd ; de standaardafwijking werd verkleind tot 0,04672 (tabel 3.4).

Voor de parameters met reeds kleine nauwkeurigheidsfactoren werden deze factoren nog verlaagd. Enkele parameters met grote nauwkeurigheidsfactoren veranderen sterk in waarde. Hun nauwkeurigheidsfactoren nemen ofwel sterk af ofwel een weinig toe. Dit kan verklaard worden door het feit dat de gevoeligheden van de waargenomen verlagingen voor de gewijzigde hydraulische parameters sterk gaan toenemen of afnemen.

Bij de vierde en de vijfde interpretatiefase werden opnieuw de waarnemingen verworpen welke een afwijking vertoonden die groter was dan driemaal de standaardafwijking van de vorige interpretatiefasen. Telkens waren het waarnemingen in de lagen 4 en 5 bij de pompproef in de onderste doorlatende laag.

De standaardafwijking van alle afwijkingen werd geminimaliseerd tot 0,0365 en tenslotte tot 0,03272 (tabel 3.4).

De parameters met een geringe nauwkeurigheidsfactor ondergaan nog slechts geringe wijzigingen ; de parameters met een grote nauwkeurigheidsfactor veranderen nog steeds in belangrijke mate.

De definitieve parameters werden bekomen na de vijfde interpretatiefase (tabel 3.4). De nog resterende afwijkingen tussen de berekende en de waargenomen verlagingen zijn gegeven in tabel 3.5. De tijd-verlagings- en afstand-verlagingskurven zijn voorgesteld in figuur 3.3. .

De parameters welke met behulp van de dubbele pompproef het nauwkeurigst werden bepaald zijn de horizontale doorlatendheden van de aangepompte lagen k_{h1} en k_{h4} , respektievelijk 11,4 en 19,99 m/d, de specifieke elastische berging van deze lagen S'_{A1} en S'_{A4} , respektievelijk $5,6 \cdot 10^{-5}$ en $1,6 \cdot 10^{-4}$, de hydraulische weerstanden tussen de aangepompte lagen, waarbij de weerstand te wijten aan de onderste slecht doorlatende laag 26 dagen bedraagt, deze van de onderste zone van de bovenste doorlatende laag 5,5 dagen.

De overige parameters werden minder nauwkeurig afgeleid. Het zijn de horizontale doorlatendheden van de niet rechtstreeks aangepompte lagen, respektievelijk 2,4 m/d (L2) en 4,7 m/d (L3, L5 en L6), en de specifieke elastische berging van deze lagen, respektievelijk $1,7 \cdot 10^{-4}$ (L2), $5 \cdot 10^{-5}$ (L3) en $1 \cdot 10^{-4}$ (L5 en L6). Het minst nauwkeurig zijn de parameters van de bovenste zone van de bovenste doorlatende laag (L5 en L6). De hydraulische weerstand tussen deze zone en de watertafel ligt in de orde van 10^2 dagen ; de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel is zeer gering en ligt in de orde van een fraktie van een procent.

De waarden vermeld in tabel 3.4 dienen te worden "vertaald" naar de reële hydrogeologische bouw van het grondwaterreservoir. De aldus bekomen hydraulische parameters zijn gegeven in tabel 3.6.

Tabel 3.5. - Logaritmische waarden van berekende en waargenomen verlagingen samen met hun onderlinge verschillen overeenkomstig de hydraulische parameters ingevoerd in het **invers** model bij de laatste interpretatiefase van de dubbelproef te Avekapelle

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN M,-----	0.100	OBSERVATION WELL 2 IN LAYER 1 AT 10.0M OF PUMPED WELL			
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M ³ /DAY,-----	166.000	OBSERVATION	LOG. TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED
INITIAL TIME, T ₁ , IN MIN,-----	0.100	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN
LOGARTMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS		1	0.00	-0.8079	-0.8327
LOGA,-----	0.100	2	0.30	-0.6362	-0.6596
LATEST CALCULATED TIME, T ₂ , IN MIN,-----	1600.	3	0.48	-0.5645	-0.5867
NUMBER OF LAYERS, N,-----	6	4	0.60	-0.5220	-0.5421
NUMBER OF RINGS, M,-----	43	5	0.70	-0.4935	-0.5058
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER-----	1	6	0.78	-0.4728	-0.4895
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN M		7	0.90	-0.4431	-0.4597
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER		8	1.00	-0.4229	-0.4389
THICKNESS OF LAYER 1, IN M,-----	8.800	9	1.10	-0.4046	-0.4191
THICKNESS OF LAYER 2, IN M,-----	4.000	10	1.20	-0.3860	-0.3990
THICKNESS OF LAYER 3, IN M,-----	4.000	11	1.30	-0.3706	-0.3851
THICKNESS OF LAYER 4, IN M,-----	4.000	12	1.40	-0.3563	-0.3706
THICKNESS OF LAYER 5, IN M,-----	1.500	13	1.51	-0.3418	-0.3556
THICKNESS OF LAYER 6, IN M,-----	1.000	14	1.60	-0.3295	-0.3401
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(1), IN M/DAY,-----	11.420	15	1.70	-0.3180	-0.3242
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(2), IN M/DAY,-----	2.350	16	1.80	-0.3068	-0.3063
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(3), IN M/DAY,-----	4.700	17	1.90	-0.2956	-0.2924
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(4), IN M/DAY,-----	19.890	18	2.00	-0.2856	-0.2815
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(5), IN M/DAY,-----	4.700	19	2.10	-0.2758	-0.2676
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(6), IN M/DAY,-----	4.700	20	2.20	-0.2655	-0.2541
HYDRAULIC RESISTANCE, C(1), IN DAY,-----	13.31	21	2.30	-0.2566	-0.2441
HYDRAULIC RESISTANCE, C(2), IN DAY,-----	13.31	22	2.40	-0.2460	-0.2336
HYDRAULIC RESISTANCE, C(3), IN DAY,-----	5.49	23	2.51	-0.2391	-0.2233
HYDRAULIC RESISTANCE, C(4), IN DAY,-----	6.06	24	2.60	-0.2315	-0.2069
HYDRAULIC RESISTANCE, C(5), IN DAY,-----	267.00	25	2.70	-0.2244	-0.1945
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S _A (1), IN M-1,-----	0.56D-04	26	2.80	-0.2173	-0.1831
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S _A (2), IN M-1,-----	0.17D-03	27	2.91	-0.2101	-0.1785
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S _A (3), IN M-1,-----	0.49D-04	28	3.00	-0.2035	-0.1720
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S _A (4), IN M-1,-----	0.16D-03	29	3.10	-0.1972	-0.1720
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S _A (5), IN M-1,-----	0.13D-03	30	3.16	-0.1930	-0.1656
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S _A (6), IN M-1,-----	0.13D-03				-0.0274
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S ₀ ,-----	0.001920				
OBSERVATION WELL 1 IN LAYER 1 AT 5.0M OF PUMPED WELL					
OBSERVATION	LOG. TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.	
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN	
1	0.00	-0.5009	-0.5513	0.0504	
2	0.34	-0.3876	-0.4295	0.0419	
3	0.48	-0.3533	-0.3893	0.0360	
4	0.60	-0.3256	-0.3585	0.0329	
5	0.70	-0.3067	-0.3429	0.0363	
6	0.78	-0.2926	-0.3242	0.0316	
7	0.91	-0.2709	-0.3028	0.0319	
8	1.00	-0.2583	-0.2865	0.0282	
9	1.10	-0.2455	-0.2725	0.0270	
10	1.20	-0.2323	-0.2628	0.0305	
11	1.30	-0.2213	-0.2518	0.0305	
12	1.40	-0.2110	-0.2403	0.0293	
13	1.51	-0.2005	-0.2299	0.0294	
14	1.60	-0.1915	-0.2190	0.0274	
15	1.70	-0.1831	-0.2034	0.0203	
16	1.81	-0.1742	-0.1904	0.0162	
17	1.90	-0.1665	-0.1805	0.0140	
18	2.00	-0.1589	-0.1624	0.0035	
19	2.10	-0.1516	-0.1599	0.0082	
20	2.20	-0.1438	-0.1475	0.0037	
21	2.30	-0.1371	-0.1415	0.0044	
22	2.40	-0.1306	-0.1314	0.0008	
23	2.51	-0.1238	-0.1284	0.0047	
24	2.60	-0.1180	-0.1158	-0.0022	
25	2.70	-0.1124	-0.1040	-0.0084	
26	2.80	-0.1070	-0.0947	-0.0123	
27	2.90	-0.1014	-0.0872	-0.0141	
28	3.00	-0.0962	-0.0894	-0.0068	
29	3.10	-0.0912	-0.0851	-0.0061	
30	3.16	-0.0880	-0.0830	-0.0050	
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF					
12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					0.0339
STANDARD DEVIATION					0.0066
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF					
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					0.0043
STANDARD DEVIATION					0.0129
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 1					0.0161
STANDARD DEVIATION					0.0182
OBSERVATION WELL 3 IN LAYER 1 AT 20.1M OF PUMPED WELL					
OBSERVATION	LOG. TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.	
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN	
1	0.00	-1.4196	-1.3665	-0.0531	
2	0.30	-1.0567	-0.9957	-0.0610	
3	0.48	-0.9190	-0.9355	0.0165	
4	0.60	-0.8409	-0.8477	0.0068	
5	0.70	-0.7903	-0.8069	0.0166	
6	0.78	-0.7544	-0.7570	0.0026	
7	0.90	-0.7041	-0.7144	0.0103	
8	1.00	-0.6706	-0.6556	-0.0150	
9	1.10	-0.6408	-0.6402	-0.0006	
10	1.20	-0.6111	-0.6108	-0.0003	
11	1.30	-0.5868	-0.5800	-0.0068	
12	1.40	-0.5646	-0.5560	-0.0086	
13	1.51	-0.5421	-0.5391	-0.0030	
14	1.60	-0.5234	-0.5171	-0.0062	
15	1.70	-0.5060	-0.4976	-0.0084	
16	1.80	-0.4890	-0.4698	-0.0192	
17	1.90	-0.4724	-0.4510	-0.0214	
18	2.00	-0.4575	-0.4330	-0.0246	
19	2.10	-0.4433	-0.4145	-0.0288	
20	2.20	-0.4283	-0.3862	-0.0421	
21	2.30	-0.4154	-0.3778	-0.0377	
22	2.40	-0.4033	-0.3665	-0.0367	
23	2.51	-0.3905	-0.3526	-0.0379	
24	2.61	-0.3797	-0.3325	-0.0471	
25	2.70	-0.3695	-0.3170	-0.0526	
26	2.80	-0.3600	-0.3036	-0.0564	
27	2.91	-0.3498	-0.2941	-0.0557	
28	3.00	-0.3409	-0.2907	-0.0502	
29	3.10	-0.3323	-0.2899	-0.0424	
30	3.16	-0.3267	-0.2840	-0.0427	
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF					
12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					-0.0077
STANDARD DEVIATION					0.0250
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF					
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					-0.0341
STANDARD DEVIATION					0.0169
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3					-0.0235
STANDARD DEVIATION					0.0240

Tabel 3.5. Vervolg. Pompproef 1.

OBSERVATION WELL 4 IN LAYER 4 AT 10.9M OF PUMPED WELL					OBSERVATION WELL 7 IN LAYER 3 AT 4.9M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	LOG.TIME(MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN(M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN(M)	LOG. DIF. DRAWDOWN	OBSERVATION NUMBER	LOG.TIME(MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN(M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN(M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	1.51	-1.3632	-1.4437	0.0805	1	0.95	-1.5485	-1.6576	0.1091
2	1.60	-1.2672	-1.3565	0.0893	2	1.04	-1.4552	-1.4815	0.0263
3	1.70	-1.1835	-1.2441	0.0606	3	1.15	-1.3531	-1.3768	0.0236
4	1.80	-1.1084	-1.1549	0.0466	4	1.26	-1.2576	-1.2518	-0.0057
5	1.90	-1.0412	-1.0809	0.0397	5	1.34	-1.1885	-1.1871	-0.0014
6	2.00	-0.9867	-1.0177	0.0310	6	1.44	-1.1214	-1.1192	-0.0023
7	2.10	-0.9392	-0.9586	0.0194	7	1.53	-1.0586	-1.0458	-0.0129
8	2.20	-0.8932	-0.8996	0.0065	8	1.62	-1.0043	-0.9788	-0.0255
9	2.30	-0.8565	-0.8601	0.0037	9	1.72	-0.9545	-0.9393	-0.0152
10	2.40	-0.8229	-0.8327	0.0097	10	1.81	-0.9076	-0.8928	-0.0148
11	2.51	-0.7893	-0.7905	0.0012	11	1.91	-0.8638	-0.8508	-0.0130
12	2.61	-0.7621	-0.7447	-0.0174	12	2.01	-0.8267	-0.8013	-0.0253
13	2.70	-0.7394	-0.7077	-0.0316	13	2.10	-0.7930	-0.7932	0.0001
14	2.81	-0.7156	-0.6737	-0.0419	14	2.21	-0.7596	-0.7375	-0.0221
15	2.91	-0.6926	-0.6536	-0.0389	15	2.31	-0.7323	-0.7100	-0.0223
16	3.01	-0.6722	-0.6490	-0.0224	16	2.40	-0.7068	-0.6840	-0.0228
17	3.10	-0.6533	-0.6383	-0.0150	17	2.51	-0.6818	-0.6478	-0.0340
18	3.16	-0.6405	-0.6308	-0.0097	18	2.60	-0.6613	-0.6198	-0.0415
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF					19	2.70	-0.6423	-0.5918	-0.0506
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					20	2.80	-0.6236	-0.5686	-0.0550
STANDARD DEVIATION					21	2.90	-0.6048	-0.5513	-0.0535
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 4					22	3.00	-0.5880	-0.5513	-0.0367
STANDARD DEVIATION					23	3.10	-0.5723	-0.5421	-0.0302
					24	3.16	-0.5622	-0.5317	-0.0305
OBSERVATION WELL 5 IN LAYER 4 AT 15.5M OF PUMPED WELL					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 7 OF				
OBSERVATION NUMBER	LOG.TIME(MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN(M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN(M)	LOG. DIF. DRAWDOWN	6 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
1	1.62	-1.2633	-1.3565	0.0933	STANDARD DEVIATION				
2	1.72	-1.1834	-1.2840	0.1006	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 7 OF				
3	1.81	-1.1108	-1.1805	0.0697	18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
4	1.91	-1.0453	-1.1024	0.0571	STANDARD DEVIATION				
5	2.01	-0.9917	-1.0177	0.0260	MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 7				
6	2.10	-0.9445	-0.9747	0.0302	STANDARD DEVIATION				
7	2.21	-0.8989	-0.9245	0.0256					
8	2.31	-0.8622	-0.8894	0.0272	OBSERVATION WELL 8 IN LAYER 5 AT 5.0M OF PUMPED WELL				
9	2.40	-0.8286	-0.8508	0.0222	OBSERVATION				
10	2.51	-0.7954	-0.8041	0.0087	LOG.TIME(MIN)				
11	2.61	-0.7686	-0.7620	-0.0067	LOG. CALCUL.				
12	2.70	-0.7449	-0.7212	-0.0236	LOG. OBSERVED				
13	2.80	-0.7212	-0.6861	-0.0351	LOG. DIF.				
14	2.91	-0.6976	-0.6655	-0.0320	NUMBER				
15	3.01	-0.6772	-0.6556	-0.0216	OBSERVATION				
16	3.10	-0.6579	-0.6536	-0.0043	DRAWDOWN(M)				
17	3.16	-0.6456	-0.6383	-0.0073	DRAWDOWN(M)				
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF					1	2.61	-0.7729	-0.9031	0.1302
17 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					2	2.70	-0.7500	-0.8601	0.1101
STANDARD DEVIATION					3	2.81	-0.7248	-0.8182	0.0933
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 5					4	2.91	-0.7012	-0.7852	0.0840
STANDARD DEVIATION					5	3.01	-0.6799	-0.7825	0.1026
					6	3.10	-0.6603	-0.7721	0.1118
					7	3.16	-0.6476	-0.7545	0.1069
					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 8 OF				
					7 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
					STANDARD DEVIATION				
					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 8				
					STANDARD DEVIATION				

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN M,-----					0.100	OBSERVATION WELL 2 IN LAYER 1 AT 16.1M OF PUMPED WELL				
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M ³ /DAY,-----					183.000	OBSERVATION	LOG. TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
INITIAL TIME, T ₁ , IN MIN,-----					0.100	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS						1	1.15	-1.8461	-1.8239	-0.0221
LOGA,-----					0.100	2	1.26	-1.6712	-1.6021	-0.0691
LATEST CALCULATED TIME, T ₂ , IN MIN,-----					1600.	3	1.34	-1.5465	-1.4685	-0.0780
NUMBER OF LAYERS, N,-----					6	4	1.43	-1.4321	-1.3768	-0.0554
NUMBER OF RINGS, M,-----					43	5	1.53	-1.3187	-1.2676	-0.0511
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER-----					4	6	1.62	-1.2273	-1.1871	-0.0403
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN M						7	1.72	-1.1464	-1.1135	-0.0329
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER						8	1.81	-1.0730	-1.0506	-0.0224
THICKNESS OF LAYER 1, IN M,-----					8.800	9	1.91	-1.0069	-0.9830	-0.0239
THICKNESS OF LAYER 2, IN M,-----					4.000	10	2.01	-0.9527	-0.9318	-0.0209
THICKNESS OF LAYER 3, IN M,-----					4.000	11	2.10	-0.9049	-0.8729	-0.0320
THICKNESS OF LAYER 4, IN M,-----					4.000	12	2.21	-0.8586	-0.8386	-0.0199
THICKNESS OF LAYER 5, IN M,-----					1.500	13	2.31	-0.8213	-0.7959	-0.0255
THICKNESS OF LAYER 6, IN M,-----					1.000	14	2.40	-0.7879	-0.7595	-0.0284
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K (1), IN M/DAY,-----					11.420	15	2.51	-0.7540	-0.7190	-0.0351
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K (2), IN M/DAY,-----					2.350	16	2.61	-0.7271	-0.6925	-0.0346
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K (3), IN M/DAY,-----					4.700	17	2.70	-0.7023	-0.6716	-0.0307
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K (4), IN M/DAY,-----					19.890	18	2.80	-0.6795	-0.6615	-0.0179
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K (5), IN M/DAY,-----					4.700	19	2.91	-0.6557	-0.6326	-0.0231
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K (6), IN M/DAY,-----					4.700	20	3.00	-0.6353	-0.6253	-0.0100
HYDRAULIC RESISTANCE, C (1), IN DAY,-----					13.31	21	3.10	-0.6154	-0.6091	-0.0063
HYDRAULIC RESISTANCE, C (2), IN DAY,-----					13.31	22	3.16	-0.6028	-0.5901	-0.0128
HYDRAULIC RESISTANCE, C (3), IN DAY,-----					5.49	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
HYDRAULIC RESISTANCE, C (4), IN DAY,-----					6.06	4 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE -0.0562				
HYDRAULIC RESISTANCE, C (5), IN DAY,-----					267.00	STANDARD DEVIATION ----- 0.0245				
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA (1), IN M-1,-----					0.56D-04	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA (2), IN M-1,-----					0.17D-03	18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE -0.0260				
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA (3), IN M-1,-----					0.49D-04	STANDARD DEVIATION ----- 0.0110				
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA (4), IN M-1,-----					0.16D-03	MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 2 ----- -0.0315				
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA (5), IN M-1,-----					0.13D-03	STANDARD DEVIATION ----- 0.0181				
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA (6), IN M-1,-----					0.13D-03					
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S ₀ ,-----					0.001920					
OBSERVATION WELL 1 IN LAYER 1 AT 11.4M OF PUMPED WELL										
OBSERVATION	LOG. TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.	OBSERVATION WELL 3 IN LAYER 1 AT 26.0M OF PUMPED WELL					
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN	
1	1.30	-1.5787	-1.5229	-0.0558	1	1.15	-1.9404	-2.0000	-0.0596	
2	1.40	-1.4518	-1.3665	-0.0853	2	1.26	-1.7501	-1.6990	-0.0511	
3	1.51	-1.3287	-1.3010	-0.0276	3	1.34	-1.6152	-1.6021	-0.0131	
4	1.60	-1.2313	-1.2218	-0.0095	4	1.43	-1.4920	-1.3979	-0.0941	
5	1.70	-1.1466	-1.1249	-0.0216	5	1.53	-1.3703	-1.3468	-0.0235	
6	1.80	-1.0705	-1.0605	-0.0100	6	1.62	-1.2728	-1.2366	-0.0362	
7	1.90	-1.0027	-0.9788	-0.0239	7	1.72	-1.1867	-1.1612	-0.0255	
8	2.00	-0.9476	-0.9318	-0.0158	8	1.81	-1.1088	-1.0915	-0.0173	
9	2.10	-0.8995	-0.8761	-0.0233	9	1.91	-1.0389	-1.0315	-0.0074	
10	2.20	-0.8528	-0.8539	0.0011	10	2.01	-0.9818	-0.9666	-0.0152	
11	2.30	-0.8155	-0.7959	-0.0196	11	2.10	-0.9315	-0.9136	-0.0179	
12	2.40	-0.7821	-0.7620	-0.0202	12	2.21	-0.8830	-0.8665	-0.0165	
13	2.51	-0.7479	-0.7258	-0.0221	13	2.31	-0.8440	-0.8268	-0.0172	
14	2.61	-0.7209	-0.7011	-0.0197	14	2.40	-0.8090	-0.7852	-0.0239	
15	2.71	-0.6965	-0.6737	-0.0228	15	2.51	-0.7730	-0.7471	-0.0259	
16	2.80	-0.6739	-0.6635	-0.0104	16	2.61	-0.7461	-0.7235	-0.0225	
17	2.91	-0.6504	-0.6364	-0.0140	17	2.70	-0.7203	-0.6968	-0.0235	
18	3.00	-0.6302	-0.6162	-0.0140	18	2.80	-0.6965	-0.6840	-0.0125	
19	3.10	-0.6105	-0.6091	-0.0014	19	2.91	-0.6719	-0.6556	-0.0163	
20	3.16	-0.5982	-0.5935	-0.0047	20	3.00	-0.6507	-0.6421	-0.0087	
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF					
2 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE -0.0706					4 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE -0.0247					
STANDARD DEVIATION ----- 0.0209					STANDARD DEVIATION ----- 0.0652					
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF					
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE -0.0155					18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE -0.0180					
STANDARD DEVIATION ----- 0.0083					STANDARD DEVIATION ----- 0.0278					
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 1 ----- -0.0210					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3 ----- -0.0192					
STANDARD DEVIATION ----- 0.0193					STANDARD DEVIATION ----- 0.0250					

Tabel 3.5. Vervolg Pompproef 2.

OBSERVATION WELL 4 IN LAYER 4 AT 5.0M OF PUMPED WELL					OBSERVATION WELL 6 IN LAYER 4 AT 20.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	LOG.TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.	OBSERVATION NUMBER	LOG.TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN		OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
1	0.10	-0.4373	-0.4622	0.0249	1	0.00	-1.7109	-1.6990	-0.0119
2	0.30	-0.3675	-0.3696	0.0021	2	0.30	-1.2256	-1.2596	0.0340
3	0.48	-0.3187	-0.3161	-0.0026	3	0.48	-1.0456	-1.0458	0.0001
4	0.60	-0.2880	-0.2815	-0.0065	4	0.60	-0.9419	-0.9788	0.0370
5	0.70	-0.2664	-0.2596	-0.0068	5	0.70	-0.8729	-0.9031	0.0302
6	0.78	-0.2499	-0.2396	-0.0103	6	0.78	-0.8231	-0.8386	0.0155
7	0.90	-0.2257	-0.2168	-0.0089	7	0.90	-0.7522	-0.7825	0.0304
8	1.00	-0.2084	-0.1993	-0.0091	8	1.00	-0.7044	-0.7212	0.0168
9	1.10	-0.1927	-0.1818	-0.0110	9	1.10	-0.6622	-0.6576	-0.0046
10	1.20	-0.1767	-0.1681	-0.0086	10	1.20	-0.6210	-0.6289	0.0080
11	1.30	-0.1636	-0.1561	-0.0075	11	1.30	-0.5881	-0.6021	0.0140
12	1.40	-0.1516	-0.1445	-0.0071	12	1.40	-0.5588	-0.5768	0.0179
13	1.51	-0.1395	-0.1337	-0.0058	13	1.51	-0.5301	-0.5452	0.0151
14	1.60	-0.1292	-0.1244	-0.0048	14	1.60	-0.5068	-0.5243	0.0175
15	1.70	-0.1201	-0.1146	-0.0055	15	1.70	-0.4856	-0.5045	0.0188
16	1.80	-0.1111	-0.1096	-0.0015	16	1.80	-0.4656	-0.4815	0.0159
17	1.90	-0.1024	-0.1018	-0.0005	17	1.90	-0.4464	-0.4660	0.0196
18	2.00	-0.0946	-0.0947	0.0002	18	2.00	-0.4297	-0.4486	0.0188
19	2.10	-0.0872	-0.0878	0.0006	19	2.10	-0.4142	-0.4330	0.0188
20	2.20	-0.0795	-0.0773	-0.0022	20	2.20	-0.3981	-0.4157	0.0176
21	2.30	-0.0728	-0.0752	0.0024	21	2.30	-0.3844	-0.4023	0.0179
22	2.40	-0.0663	-0.0701	0.0038	22	2.40	-0.3714	-0.3893	0.0180
23	2.51	-0.0597	-0.0650	0.0053	23	2.51	-0.3569	-0.3778	0.0209
24	2.60	-0.0538	-0.0605	0.0067	24	2.60	-0.3464	-0.3665	0.0202
25	2.70	-0.0482	-0.0550	0.0068	25	2.70	-0.3355	-0.3565	0.0210
26	2.80	-0.0426	-0.0545	0.0119	26	2.80	-0.3250	-0.3487	0.0238
27	2.90	-0.0366	-0.0491	0.0125	27	2.90	-0.3135	-0.3391	0.0256
28	3.00	-0.0313	-0.0472	0.0159	28	3.00	-0.3035	-0.3307	0.0271
29	3.10	-0.0258	-0.0443	0.0185	29	3.10	-0.2934	-0.3251	0.0317
30	3.16	-0.0223	-0.0410	0.0187	30	3.16	-0.2871	-0.3170	0.0298
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 6 OF				
12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
STANDARD DEVIATION					STANDARD DEVIATION				
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 6 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
STANDARD DEVIATION					STANDARD DEVIATION				
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 4					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 6				
STANDARD DEVIATION					STANDARD DEVIATION				
OBSERVATION WELL 5 IN LAYER 4 AT 10.0M OF PUMPED WELL					OBSERVATION WELL 7 IN LAYER 3 AT 5.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	LOG.TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.	OBSERVATION NUMBER	LOG.TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN		OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
1	0.00	-0.8743	-0.8894	0.0151	1	0.85	-0.6167	-0.6162	-0.0005
2	0.30	-0.6699	-0.6556	-0.0143	2	0.95	-0.5762	-0.5702	-0.0060
3	0.51	-0.5731	-0.5622	-0.0108	3	1.04	-0.5467	-0.5376	-0.0091
4	0.60	-0.5341	-0.5129	-0.0212	4	1.15	-0.5143	-0.5045	-0.0098
5	0.70	-0.4987	-0.4763	-0.0224	5	1.26	-0.4837	-0.4750	-0.0088
6	0.78	-0.4723	-0.4486	-0.0238	6	1.35	-0.4592	-0.4498	-0.0094
7	0.90	-0.4339	-0.4112	-0.0228	7	1.43	-0.4407	-0.4342	-0.0066
8	1.00	-0.4073	-0.3830	-0.0243	8	1.53	-0.4194	-0.4145	-0.0048
9	1.10	-0.3833	-0.3615	-0.0218	9	1.62	-0.4014	-0.3979	-0.0035
10	1.20	-0.3593	-0.3382	-0.0211	10	1.72	-0.3848	-0.3809	-0.0039
11	1.30	-0.3397	-0.3188	-0.0210	11	1.81	-0.3687	-0.3655	-0.0032
12	1.40	-0.3221	-0.3045	-0.0176	12	1.91	-0.3531	-0.3516	-0.0015
13	1.51	-0.3041	-0.2865	-0.0176	13	2.01	-0.3395	-0.3382	-0.0013
14	1.60	-0.2900	-0.2733	-0.0167	14	2.10	-0.3267	-0.3279	0.0013
15	1.70	-0.2766	-0.2636	-0.0130	15	2.21	-0.3134	-0.3143	0.0009
16	1.80	-0.2639	-0.2510	-0.0128	16	2.31	-0.3021	-0.3054	0.0033
17	1.90	-0.2515	-0.2403	-0.0112	17	2.40	-0.2912	-0.2950	0.0038
18	2.00	-0.2406	-0.2291	-0.0115	18	2.51	-0.2801	-0.2848	0.0048
19	2.10	-0.2304	-0.2211	-0.0092	19	2.60	-0.2707	-0.2765	0.0059
20	2.20	-0.2197	-0.2118	-0.0078	20	2.71	-0.2611	-0.2668	0.0057
21	2.30	-0.2105	-0.2027	-0.0078	21	2.80	-0.2522	-0.2636	0.0114
22	2.40	-0.2016	-0.1952	-0.0065	22	2.91	-0.2428	-0.2565	0.0137
23	2.51	-0.1925	-0.1864	-0.0060	23	3.00	-0.2342	-0.2534	0.0192
24	2.60	-0.1845	-0.1772	-0.0074	24	3.10	-0.2257	-0.2510	0.0253
25	2.70	-0.1770	-0.1733	-0.0038	25	3.16	-0.2205	-0.2441	0.0236
26	2.80	-0.1696	-0.1707	0.0011	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 7 OF				
27	2.90	-0.1616	-0.1630	0.0015	7 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
28	3.00	-0.1545	-0.1618	0.0073	STANDARD DEVIATION				
29	3.10	-0.1472	-0.1555	0.0083	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 7 OF				
30	3.16	-0.1427	-0.1512	0.0085	18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF					STANDARD DEVIATION				
12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 7				
STANDARD DEVIATION					STANDARD DEVIATION				
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF									
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE									
STANDARD DEVIATION									
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 5									
STANDARD DEVIATION									

Tabel 3.5. Vervolg Pompproef 2.

OBSERVATION WELL 8 IN LAYER 5 AT 5.1M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	LOG.TIME(MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN(M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN(M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	0.85	-0.4409	-0.4815	0.0406
2	0.95	-0.4023	-0.4377	0.0355
3	1.04	-0.3759	-0.3372	-0.0386
4	1.15	-0.3485	-0.3325	-0.0159
5	1.26	-0.3240	-0.3143	-0.0097
6	1.34	-0.3069	-0.2924	-0.0144
7	1.43	-0.2912	-0.2757	-0.0154
8	1.53	-0.2753	-0.2581	-0.0173
9	1.62	-0.2622	-0.2480	-0.0143
10	1.72	-0.2501	-0.2381	-0.0120
11	1.81	-0.2384	-0.2255	-0.0129
12	1.91	-0.2269	-0.2111	-0.0158
13	2.01	-0.2169	-0.1993	-0.0176
14	2.10	-0.2073	-0.1938	-0.0134
15	2.21	-0.1972	-0.1838	-0.0135
16	2.31	-0.1886	-0.1772	-0.0114
17	2.40	-0.1801	-0.1707	-0.0094
18	2.52	-0.1707	-0.1624	-0.0083
19	2.61	-0.1634	-0.1543	-0.0091
20	2.71	-0.1561	-0.1500	-0.0061
21	2.80	-0.1489	-0.1463	-0.0026
22	2.91	-0.1409	-0.1337	-0.0072
23	3.00	-0.1340	-0.1314	-0.0027
24	3.10	-0.1269	-0.1864	0.0595
25	3.16	-0.1225	-0.1325	0.0100
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 8 OF				
7 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0026
STANDARD DEVIATION				0.0293
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 8 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0058
STANDARD DEVIATION				0.0176
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 8				-0.0049
STANDARD DEVIATION				0.0209
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS				-0.0065
STANDARD DEVIATION				0.0216
MEAN OF DEVIATIONS OF 64 OBSERVATIONS IN LAYER 1				-0.0240
STANDARD DEVIATION				0.0217
MEAN OF DEVIATIONS OF 25 OBSERVATIONS IN LAYER 3				0.0020
STANDARD DEVIATION				0.0100
MEAN OF DEVIATIONS OF 90 OBSERVATIONS IN LAYER 4				0.0032
STANDARD DEVIATION				0.0159
MEAN OF DEVIATIONS OF 25 OBSERVATIONS IN LAYER 5				-0.0049
STANDARD DEVIATION				0.0209

Tabel 3.6. Hydraulische parameters van de hydrogeologische eenheden, berekend met het invers model "INPURE"

Laag	dikte (m)	k_h (m/d)	$S \times 10^{-3}$	c (d)
facies K8,2,1 (L1)	8,8	11,4	0,49	
facies K8,2,2 (L2)	4,0	2,4	0,70	26,6
facies K8,2,1 (L3)	4,0	4,7	0,20	
facies K8,3 (L4)	4,0	19,9	0,64	
facies K8,4 (L5+L6)	2,5	4,7	0,34	

Uit de resultaten blijkt duidelijk het grovere karakter van het facies K8,3 ten opzichte van het facies K8,4 en in mindere mate het facies K8,2,1.

Uit het korrelverdelingsonderzoek (par. 2.2.2.2.4.) bleek de nagenoeg gelijke samenstelling van de facies K8,2,1 en K8,4. In tabel 3.6 vertoont eerstgenoemd facies in de onderste zone (L1) evenwel een duidelijk hogere doorlatendheid. Dit is te wijten aan het feit dat het facies K8,2,1 op de plaats van de pompproef een grovere samenstelling vertoont dan elders het geval is. De bovenste zone van het facies (L3) is wel in overeenstemming met de resultaten van het granulometrisch onderzoek.

Opvallend is bovendien de geringe hydraulische weerstand van het facies K8,2,2 ; deze weerstand stemt overeen met een verticale doorlatendheid van 0,15 m/d.

3.5. De pompproef in de IJzerkreek

3.5.1. Geologische gesteldheid op de plaats van de pompproef

De geologische gesteldheid op de plaats van de pompproef wordt weergegeven door de litostratigrafische doorsnede in figuur 3.4. . Het ondoorlatend substraat wordt er gevormd door de laag K2, facies K2,1. De top van deze laag ligt op het peil -11,5.

Op deze laag rust de laag K8. Tussen de peilen -11,5 en -4 bevindt zich een eerste doorlatende laag welke is samengesteld uit fijn zand met soms enkele kleibrokjes.

De basis wordt gevormd door een dunne zone (0,5 m) grof zand met tamelijk veel schelpgruis. De dikte van deze laag bedraagt 7,5 m.

Ze is bedekt door een 2,7 m dikke slecht doorlatende laag gekenmerkt door een afwisseling van dunne zand-, leem-, en veenlaagjes.

De bovenste doorlatende laag bestaat uit fijn zand en bevat enkele veenlaagjes en leembrokjes. De laag is 3,8 m dik en is aanwezig tussen de peilen -1,3 en +2,5.

De top van de kwartaire afzettingen wordt gevormd door een 1,5 m dikke slecht doorlatende laag (laag K10) bestaande uit kleihoudend zand (0,3 m) en klei (1,2 m).

3.5.2. Voorbereiding en uitvoering van de pompproef

In tegenstelling met de pompproef te Avekapelle werd hier een enkelvoudige pompproef uitgevoerd. Het hoofddoel ervan de proef was immers slechts de doorlatendheid van de onderste doorlatende laag en in mindere mate van de weerstand van de bovenliggende slecht doorlatende laag te bepalen.

Ten behoeve van de pompproef werden 6 putten gespoeld ; één ervan werd uitgebouwd tot een pompput (PP), in de overige (PB) werd een peilbuis aangebracht. De ligging van de pompput en de vijf peilbuizen is weergegeven in figuur 3.4. .

Het boorgat PP werd gespoeld met een diameter van 120 mm. Hierin werd een PVC-buis (diameter 90 mm) met een filterelement van 7,5 m neergelaten ; de onderste doorlatende laag wordt er volledig door aangesneden. Het filterelement werd omstort met gekalibreerd grof zand ; ter hoogte van de slecht doorlatende lagen werd een kleistop aangebracht.

De overige boringen werden gespoeld met een diameter van 90 mm en voorzien van een PVC-buis met een diameter van 40 mm. De peilbuizen PB1, PB2 en PB3 reiken tot in de aangepompte laag, PB4 tot in de onderste slecht doorlatende laag en PB5 tot in de bovenste doorlatende laag. Alle filterelementen zijn 1 m lang ; ze zijn omstort met gekalibreerd grof zand. Het boorgat is ter hoogte van de slecht doorlatende lagen telkens afgesloten met een kleistop.

De bemaling ving aan op 10 juli 1986 om 10.30h. Er werd gebruik gemaakt van een WAVO-pomp. Het opgepompte water werd afgevoerd door middel van een afvoerleiding en op ca. 200 m afstand geloosd in een afwateringsgracht. Regelmatig

werd het debiet van het opgepompte water gemeten ; dit debiet schommelde steeds rond $125 \text{ m}^3/\text{h}$ met als uiterste waarden $117 \text{ m}^3/\text{h}$ en $134 \text{ m}^3/\text{h}$.

Na 24 h bemaling werd de pomp stilgelegd.

3.5.3. Schematisering van het grondwaterreservoir in het numeriek model

In het numeriek model worden 4 lagen onderscheiden. Laag 1 stemt overeen met de onderste doorlatende laag welke wordt aangepompt over zijn volledige dikte. Laag 2 is de erop rustende slecht doorlatende laag.

De bovenste doorlatende laag wordt opgesplitst in laag 3 en laag 4 ; laag 3 omvat de onderste 3,0 m van deze laag, laag 4 het hierop rustende 0,5 m dikke interval tot aan de watertafel.

De schematisering van het grondwaterreservoir is eveneens voorgesteld op figuur 3.4. .

3.5.4. Interpretatie van de pompproefgegevens

3.5.4.1. Interpretatie met het model "SIMTES" (LEBBE, niet gepubliceerd)

De aan iedere laag toegekende waarden voor de hydraulische parameters bij de eerste simulatie (tabel 3.7) werden opnieuw afgeleid uit deze bekomen met de klassieke interpretatiemethoden of werden geschat aan de hand van resultaten uit andere pompproeven.

Tabel 3.7. Aanvangswaarden van de hydraulische parameters van de onderscheiden lagen, ingevoerd in het mathematisch model "SIMTES"

Laag	dikte (m)	k_h (m/d)	S'_A ($\times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$)	S_0	c (d)
L4	0,5	5,0	2,5	0,20	10
L3	3,0	5,0	2,5		20
L2	2,7	1,0	2,5		20
L1	7,5	5,0	2,5		

Na herhaalde simulaties van de pompproef, steeds met aangepaste (verbeterde) hydraulische parameters en na meerdere gevoeligheidsanalyses, werd de beste overeenkomst tussen de gemeten en de berekende verlagingen bekomen bij invoer van de waarden die zijn opgenomen in tabel 3.8. De afwijkingen tussen de berekende en de waargenomen verlagingen zijn gegeven in tabel 3.9 , de tijd-verlagings- en afstand-verlagingskurven in figuur 3.5. .

Tabel 3.8. Hydraulische parameters van de onderscheiden lagen in het mathematisch model "SIMTES"

Laag	dikte (m)	k_h (m/d)	S'_A ($\times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$)	S_0	c (d)
L4	0,5	4,0	2,5	0,10	36
L3	3,0	4,0	2,5		13
L2	2,7	2,0	2,0		32
L1	7,5	6,7	1,0		

Vier parameters werden met een grote nauwkeurigheid bepaald : de doorlatendheid van de aangepompte laag (k_{h1}), de bergingscoëfficiënt van de aangepompte laag (S'_{A1}) en de weerstand van de onderste slecht doorlatende laag ($c_1 + c_2$). De overige parameters hebben weinig of geen invloed op de interpretatie van de pompproef en kunnen bijgevolg niet nauwkeurig worden afgeleid.

3.5.4.2. Interpretatie met het invers model "INPURE"

De interpretatie van de pompproefgegevens werd verder verbeterd met behulp van het invers model "INPURE" (LEBBE, 1988). Tien verschillende hydraulische parameters of groepen van parameters worden hierbij als te bepalen beschouwd :

- de horizontale doorlatendheid van de aangepompte laag en de onderste slecht doorlatende laag k_{h1} en k_{h2} ;
- de specifieke elastische berging van de aangepompte laag en de onderste slecht doorlatende laag S'_{A1} en S'_{A2} ;

Tabel 3.9. - Logaritmische waarden van berekende en waargenomen verlagingen samen met hun onderlinge verschillen overeenkomstig de hydraulische parameters ingevoerd in het numerieke model bij de laatste interpretatiefase van de pompproef te Driekapelle

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN M, -----				0.100	OBSERVATION WELL 2 IN LAYER 1 AT 10.0M OF PUMPED WELL				
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M ³ /DAY, -----				125.000	OBSERVATION	TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
INITIAL TIME, T ₁ , IN MIN, -----				0.100	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS					1	1.00	-1.0554	-1.0044	-0.0511
LOGA, -----				0.100	2	2.00	-0.7388	-0.7747	0.0359
LATEST CALCULATED TIME, T ₂ , IN MIN, -----				1600.	3	3.00	-0.6113	-0.6596	0.0483
NUMBER OF LAYERS, N, -----				4	4	4.00	-0.5360	-0.5918	0.0557
NUMBER OF RINGS, M, -----				43	5	5.00	-0.4856	-0.5376	0.0520
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER -----				1	6	6.00	-0.4489	-0.4989	0.0501
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN M					7	8.00	-0.3964	-0.4365	0.0401
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER					8	10.00	-0.3608	-0.3936	0.0328
THICKNESS OF LAYER 1, IN M, -----				7.500	9	12.50	-0.3289	-0.3595	0.0306
THICKNESS OF LAYER 2, IN M, -----				2.700	10	16.00	-0.2975	-0.3206	0.0231
THICKNESS OF LAYER 3, IN M, -----				3.000	11	20.00	-0.2721	-0.2890	0.0169
THICKNESS OF LAYER 4, IN M, -----				0.500	12	25.00	-0.2495	-0.2620	0.0125
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(1), IN M/DAY, -----				6.700	13	32.00	-0.2273	-0.2328	0.0056
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(2), IN M/DAY, -----				2.000	14	40.00	-0.2093	-0.2104	0.0011
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(3), IN M/DAY, -----				4.000	15	50.00	-0.1933	-0.1904	-0.0028
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(4), IN M/DAY, -----				4.000	16	63.00	-0.1784	-0.1733	-0.0052
HYDRAULIC RESISTANCE, C(1), IN DAY, -----				32.	17	80.00	-0.1649	-0.1586	-0.0062
HYDRAULIC RESISTANCE, C(2), IN DAY, -----				13.	18	100.00	-0.1538	-0.1463	-0.0075
HYDRAULIC RESISTANCE, C(3), IN DAY, -----				36.	19	125.00	-0.1443	-0.1361	-0.0082
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(1), IN M-1, -----				0.10D-03	20	160.00	-0.1356	-0.1267	-0.0089
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(2), IN M-1, -----				0.20D-03	21	200.30	-0.1296	-0.1198	-0.0098
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(3), IN M-1, -----				0.25D-03	22	250.00	-0.1251	-0.1152	-0.0099
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(4), IN M-1, -----				0.25D-03	23	320.50	-0.1216	-0.1057	-0.0159
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S ₀ , -----				0.100000	24	400.75	-0.1195	-0.1024	-0.0171
					25	500.50	-0.1180	-0.0980	-0.0200
					26	631.50	-0.1168	-0.0975	-0.0194
					27	800.80	-0.1156	-0.0964	-0.0192
					28	1012.50	-0.1142	-0.0969	-0.0173
					29	1251.00	-0.1127	-0.0985	-0.0142
					30	1440.50	-0.1115	-0.1040	-0.0075
OBSERVATION WELL 1 IN LAYER 1 AT 5.0M OF PUMPED WELL					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
OBSERVATION	TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.	12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN	STANDARD DEVIATION -----				
1	3.00	-0.3069	-0.3757	0.0688	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
2	4.00	-0.2633	-0.3288	0.0655	18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
3	5.00	-0.2330	-0.2916	0.0585	STANDARD DEVIATION -----				
4	6.00	-0.2105	-0.2652	0.0547	MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 2 -----				
5	8.00	-0.1776	-0.2226	0.0450	STANDARD DEVIATION -----				
6	10.00	-0.1547	-0.1959	0.0411					
7	12.50	-0.1338	-0.1701	0.0362					
8	16.00	-0.1129	-0.1433	0.0304					
9	20.00	-0.0958	-0.1215	0.0257					
10	25.00	-0.0802	-0.0985	0.0183					
11	32.20	-0.0644	-0.0799	0.0154					
12	40.00	-0.0522	-0.0645	0.0123					
13	50.00	-0.0408	-0.0496	0.0088					
14	63.00	-0.0302	-0.0376	0.0074					
15	80.30	-0.0204	-0.0264	0.0061					
16	100.00	-0.0125	-0.0173	0.0048					
17	125.00	-0.0056	-0.0114	0.0059					
18	160.00	0.0007	-0.0052	0.0060					
19	200.00	0.0052	0.0000	0.0052					
20	250.00	0.0085	0.0043	0.0042					
21	320.00	0.0111	0.0073	0.0038					
22	400.00	0.0127	0.0107	0.0019					
23	500.00	0.0138	0.0137	0.0001					
24	630.00	0.0147	0.0133	0.0014					
25	800.00	0.0156	0.0179	-0.0023					
26	1011.00	0.0166	0.0124	0.0042					
27	1250.00	0.0177	0.0116	0.0061					
28	1440.00	0.0186	0.0052	0.0134					
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF					OBSERVATION WELL 3 IN LAYER 1 AT 19.9M OF PUMPED WELL				
10 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0444	OBSERVATION	TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
STANDARD DEVIATION -----				0.0172	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN (M)	DRAWDOWN
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF					1	4.00	-1.0317	-0.9788	-0.0529
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0058	2	5.00	-0.9289	-0.9101	-0.0188
STANDARD DEVIATION -----				0.0045	3	6.00	-0.8568	-0.8508	-0.0060
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 1 -----				0.0196	4	8.00	-0.7566	-0.7520	-0.0045
STANDARD DEVIATION -----				0.0216	5	10.00	-0.6910	-0.6925	0.0016
					6	12.50	-0.6340	-0.6364	0.0024
					7	16.00	-0.5792	-0.5784	-0.0008
					8	20.00	-0.5361	-0.5331	-0.0029
					9	25.00	-0.4983	-0.4881	-0.0102
					10	32.00	-0.4620	-0.4461	-0.0159
					11	40.00	-0.4332	-0.4168	-0.0164
					12	50.00	-0.4078	-0.3904	-0.0173
					13	63.00	-0.3846	-0.3655	-0.0191
					14	80.00	-0.3637	-0.3420	-0.0217
					15	100.00	-0.3467	-0.3233	-0.0234
					16	125.00	-0.3323	-0.3072	-0.0252
					17	160.00	-0.3194	-0.2933	-0.0261
					18	200.00	-0.3103	-0.2798	-0.0304
					19	250.00	-0.3035	-0.2725	-0.0310
					20	321.50	-0.2983	-0.2604	-0.0378
					21	401.50	-0.2951	-0.2518	-0.0433
					22	501.50	-0.2930	-0.2480	-0.0450
					23	632.30	-0.2912	-0.2434	-0.0478
					24	801.80	-0.2894	-0.2411	-0.0483
					25	1013.80	-0.2874	-0.2411	-0.0463
					26	1252.00	-0.2853	-0.2388	-0.0464
					27	1441.20	-0.2835	-0.2411	-0.0424
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF					MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF				
9 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0102	18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
STANDARD DEVIATION -----				0.0173	STANDARD DEVIATION -----				
					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3 -----				
					STANDARD DEVIATION -----				

Tabel 3.9. - Vervolg

OBSERVATION WELL 4 IN LAYER 2 AT 5.0M OF PUMPED WELL					OBSERVATION WELL 5 IN LAYER 3 AT 5.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN)	LOG. CALCUL. DRAWDOWN(M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN(M)	LOG. DIF. DRAWDOWN	OBSERVATION NUMBER	TIME(MIN)	LOG. CALCUL. DRAWDOWN(M)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN(M)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	3.00	-1.5256	-1.5850	0.0595	1	14.00	-1.5206	-1.5086	-0.0120
2	4.00	-1.3813	-1.4437	0.0624	2	18.00	-1.3725	-1.3768	0.0042
3	5.00	-1.2790	-1.3279	0.0489	3	22.00	-1.2657	-1.2596	-0.0061
4	6.00	-1.2015	-1.2441	0.0426	4	27.00	-1.1670	-1.1805	0.0134
5	8.00	-1.0874	-1.1367	0.0493	5	34.00	-1.0689	-1.0915	0.0226
6	10.00	-1.0070	-1.0555	0.0485	6	42.00	-0.9903	-1.0410	0.0506
7	12.50	-0.9334	-0.9914	0.0580	7	52.00	-0.9218	-0.9666	0.0448
8	16.00	-0.8589	-0.9245	0.0656	8	65.00	-0.8615	-0.9101	0.0486
9	20.00	-0.7975	-0.8601	0.0626	9	82.00	-0.8103	-0.8697	0.0594
10	25.00	-0.7415	-0.8097	0.0682	10	102.00	-0.7715	-0.8210	0.0495
11	32.00	-0.6854	-0.7520	0.0666	11	127.00	-0.7409	-0.7905	0.0496
12	40.00	-0.6397	-0.7122	0.0725	12	162.00	-0.7154	-0.7645	0.0491
13	50.00	-0.5990	-0.6737	0.0747	13	202.00	-0.6981	-0.7375	0.0394
14	63.00	-0.5620	-0.6383	0.0763	14	252.00	-0.6854	-0.7077	0.0224
15	80.00	-0.5296	-0.6108	0.0812	15	322.20	-0.6752	-0.6840	0.0088
16	100.00	-0.5045	-0.5800	0.0756	16	403.00	-0.6681	-0.6615	-0.0066
17	125.00	-0.4842	-0.5560	0.0717	17	503.30	-0.6621	-0.6364	-0.0257
18	160.00	-0.4669	-0.5302	0.0633	18	634.30	-0.6559	-0.6234	-0.0325
19	200.50	-0.4550	-0.5129	0.0579	19	804.30	-0.6489	-0.6073	-0.0416
20	250.00	-0.4405	-0.4962	0.0497	20	1016.00	-0.6406	-0.5969	-0.0437
21	322.30	-0.4397	-0.4724	0.0327	21	1254.50	-0.6317	-0.5834	-0.0483
22	402.50	-0.4354	-0.4584	0.0230	22	1444.00	-0.6246	-0.5751	-0.0495
23	502.50	-0.4320	-0.4473	0.0153	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
24	633.30	-0.4287	-0.4365	0.0078	4 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
25	803.20	-0.4251	-0.4260	0.0008	STANDARD DEVIATION				
26	1015.00	-0.4209	-0.4225	0.0016	MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
27	1253.50	-0.4164	-0.4191	0.0027	18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
28	1442.30	-0.4127	-0.4179	0.0052	STANDARD DEVIATION				
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 5				
10 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					STANDARD DEVIATION				
STANDARD DEVIATION					MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS				
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF					STANDARD DEVIATION				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					MEAN OF DEVIATIONS OF 85 OBSERVATIONS IN LAYER 1				
STANDARD DEVIATION					STANDARD DEVIATION				
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 4					MEAN OF DEVIATIONS OF 28 OBSERVATIONS IN LAYER 2				
STANDARD DEVIATION					STANDARD DEVIATION				
					MEAN OF DEVIATIONS OF 22 OBSERVATIONS IN LAYER 3				
					STANDARD DEVIATION				

- de hydraulische weerstanden tussen de verschillende lagen in het model, c_1 , c_2 en c_3 ;
- de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel S_0 ;
- een groep met de horizontale doorlatendheden van de twee bovenste lagen, k_{h3-4} ;
- een groep met de specifieke elastische bergingen van de twee bovenste lagen, S'_{A3-4} .

Na een aantal iteraties met het invers model bleek de logaritme van de horizontale doorlatendheid van de onderste slecht doorlatende laag te divergeren naar min oneindig. Dat de horizontale doorlatendheid van deze laag gelijk is aan nul kan moeilijk worden aanvaard. Daarom werd een geschatte waarde van 2 m/d aangenomen en werd deze hydraulische parameter niet meer als te bepalen beschouwd. Het aantal te bepalen parameters werd aldus gereduceerd tot negen.

Bij de verdere iteraties namen enkele korrelatiecoëfficiënten grote waarden aan. De waarden van de hydraulische parameters en het kwadraat van de afwijkingen vertoonden bovendien zeer grote schommelingen zodat niet kon worden vastgesteld of het inverse proces konvergeerde naar één welbepaalde oplossing.

Door de te bepalen hydraulische parameters te scheiden in twee reeksen en ze afwisselend als te bepalen en als gekend te beschouwen kon de som van de kwadraten geminimaliseerd worden. Nadat op deze wijze het minimum werd bereikt werden alle te bepalen hydraulische parameters of groepen van parameters terug gezamenlijk behandeld en werden hun waarden bepaald.

De aldus gevonden waarden zijn samen met hun nauwkeurigheidsfactoren opgenomen in tabel 3.10. De resterende afwijkingen tussen de waargenomen en berekende verlagingen zijn opgenomen in tabel 3.11. ; de tijd- en afstand-verlagingskurven zijn voorgesteld in figuur 3.6. .

Uit deze nauwkeurigheidsfactoren kan worden afgeleid dat enkel de horizontale doorlatendheid (7,88 m/d) en de specifieke elastische berging ($1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$) van de aangepompte laag en de hydraulische weerstand tussen de laag 1 en de laag 2 (63 dagen) voldoende nauwkeurig zijn gekend. De andere hydraulische parameters zijn minder nauwkeurig afgeleid.

Tabel 3.10. Waarden en nauwkeurigheidsfactoren van de hydraulische parameters afgeleid met het invers model "INPURE" voor de pompproef te Nieuwkapelle.

Hydraulische parameters	1 ^{ste} fase	2 ^{de} fase		
	waarde	waarde	Cf 98	Cf 98m
$k_h 1$	6,7	7,88	1,0093	1,0258
$k_h 2$	2,0	1,95	-	-
$k_h 3$	4,0	4,30	1,0872	2,4854
$c 1$	32	63	1,0147	1,1661
$c 2$	13	24	1,0506	1,3161
$c 3$	36	77	1,0512	1,4002
$S'_A 1$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	1,0242	1,0292
$S'_A 2$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	1,0702	1,2879
$S'_A 3-4$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-4}$	1,0535	1,6398
S_0	0,100	0,0136	1,0973	1,4663

Opmerking :

De in het vet gedrukte parameters hebben weinig invloed op de waargenomen verlagingen ; hun aangegeven waarden zijn deze aangewend in het numeriek model.

Tabel 3.11. - Logaritmische waarden van berekende en waargenomen verlagingen samen met hun onderlinge verschillen overeenkomstig de hydraulische parameters ingevoerd in het invers model bij de laatste interpretatiefase van de pomp-proef te Driekapelle (LEBBE, 1988)

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN M,-----					0.100	OBSERVATION WELL 2 IN LAYER 1 AT 10.0M OF PUMPED WELL				
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M3/DAY,-----					125.000	OBSERVATION	LOG.TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
INITIAL TIME, T1, IN MIN,-----					0.100	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS						1	0.00	-1.0429	-1.0044	-0.0385
LOGA,-----					0.100	2	0.30	-0.7510	-0.7747	0.0237
LATEST CALCULATED TIME, T2, IN MIN,-----					1600.	3	0.48	-0.6310	-0.6596	0.0286
NUMBER OF LAYERS, N,-----					4	4	0.60	-0.5592	-0.5918	0.0326
NUMBER OF RINGS, M,-----					43	5	0.70	-0.5104	-0.5376	0.0272
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER-----					1	6	0.78	-0.4745	-0.4989	0.0244
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN M						7	0.90	-0.4226	-0.4365	0.0139
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER						8	1.00	-0.3866	-0.3936	0.0070
THICKNESS OF LAYER 1, IN M,-----					7.500	9	1.10	-0.3540	-0.3595	0.0056
THICKNESS OF LAYER 2, IN M,-----					2.700	10	1.20	-0.3210	-0.3206	-0.0005
THICKNESS OF LAYER 3, IN M,-----					3.000	11	1.30	-0.2939	-0.2890	-0.0049
THICKNESS OF LAYER 4, IN M,-----					0.500	12	1.40	-0.2691	-0.2620	-0.0071
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(1), IN M/DAY,-----					7.884	13	1.51	-0.2441	-0.2328	-0.0112
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(2), IN M/DAY,-----					1.949	14	1.60	-0.2235	-0.2104	-0.0130
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(3), IN M/DAY,-----					4.298	15	1.70	-0.2046	-0.1904	-0.0142
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(4), IN M/DAY,-----					4.298	16	1.80	-0.1869	-0.1733	-0.0136
HYDRAULIC RESISTANCE, C(1), IN DAY,-----					63.	17	1.90	-0.1704	-0.1586	-0.0117
HYDRAULIC RESISTANCE, C(2), IN DAY,-----					24.	18	2.00	-0.1566	-0.1463	-0.0103
HYDRAULIC RESISTANCE, C(3), IN DAY,-----					77.	19	2.10	-0.1445	-0.1361	-0.0084
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(1), IN M-1,-----					0.10D-03	20	2.21	-0.1328	-0.1267	-0.0062
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(2), IN M-1,-----					0.80D-04	21	2.30	-0.1242	-0.1198	-0.0044
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(3), IN M-1,-----					0.71D-04	22	2.40	-0.1170	-0.1152	-0.0018
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(4), IN M-1,-----					0.71D-04	23	2.51	-0.1106	-0.1057	-0.0049
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S0,-----					0.013580	24	2.60	-0.1060	-0.1024	-0.0036
						25	2.70	-0.1022	-0.0980	-0.0042
						26	2.80	-0.0987	-0.0975	-0.0012
						27	2.90	-0.0951	-0.0964	0.0012
						28	3.01	-0.0913	-0.0969	0.0056
						29	3.10	-0.0873	-0.0985	0.0112
						30	3.16	-0.0842	-0.1040	0.0198
OBSERVATION WELL 1 IN LAYER 1 AT 5.0M OF PUMPED WELL						MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
OBSERVATION	LOG.TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.		12 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN		STANDARD DEVIATION -----				
1	0.48	-0.3471	-0.3757	0.0286		MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
2	0.60	-0.3044	-0.3288	0.0245		18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
3	0.70	-0.2744	-0.2916	0.0172		STANDARD DEVIATION -----				
4	0.78	-0.2517	-0.2652	0.0135		MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 2 -----				
5	0.90	-0.2184	-0.2226	0.0042		STANDARD DEVIATION -----				
6	1.00	-0.1947	-0.1959	0.0012						
7	1.10	-0.1727	-0.1701	-0.0027						
8	1.20	-0.1502	-0.1433	-0.0069						
9	1.30	-0.1313	-0.1215	-0.0099						
10	1.40	-0.1139	-0.0985	-0.0153						
11	1.51	-0.0956	-0.0799	-0.0157						
12	1.60	-0.0811	-0.0645	-0.0166						
13	1.70	-0.0673	-0.0496	-0.0177						
14	1.80	-0.0542	-0.0376	-0.0166						
15	1.90	-0.0418	-0.0264	-0.0154						
16	2.00	-0.0316	-0.0173	-0.0143						
17	2.10	-0.0225	-0.0114	-0.0110						
18	2.20	-0.0137	-0.0052	-0.0085						
19	2.30	-0.0070	0.0000	-0.0070						
20	2.40	-0.0015	0.0043	-0.0058						
21	2.51	0.0034	0.0073	-0.0039						
22	2.60	0.0069	0.0107	-0.0038						
23	2.70	0.0099	0.0137	-0.0038						
24	2.80	0.0126	0.0133	-0.0007						
25	2.90	0.0154	0.0179	-0.0025						
26	3.00	0.0184	0.0124	0.0059						
27	3.10	0.0215	0.0116	0.0099						
28	3.16	0.0239	0.0052	0.0187						
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF						OBSERVATION WELL 3 IN LAYER 1 AT 19.0M OF PUMPED WELL				
10 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					0.0054	OBSERVATION	LOG.TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
STANDARD DEVIATION -----					0.0149	NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF						1	0.60	-1.0123	-0.9788	-0.0335
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					-0.0060	2	0.70	-0.9165	-0.9101	-0.0064
STANDARD DEVIATION -----					0.0100	3	0.78	-0.8484	-0.8508	0.0024
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 1 -----					-0.0019	4	0.90	-0.7527	-0.7520	-0.0007
STANDARD DEVIATION -----					0.0130	5	1.00	-0.6890	-0.6925	0.0035
						6	1.10	-0.6327	-0.6364	0.0037
						7	1.20	-0.5774	-0.5784	0.0010
						8	1.30	-0.5330	-0.5331	0.0001
						9	1.40	-0.4933	-0.4881	-0.0052
						10	1.51	-0.4541	-0.4461	-0.0080
						11	1.60	-0.4223	-0.4168	-0.0055
						12	1.70	-0.3938	-0.3904	-0.0034
						13	1.80	-0.3673	-0.3655	-0.0018
						14	1.90	-0.3431	-0.3420	-0.0011
						15	2.00	-0.3231	-0.3233	0.0002
						16	2.10	-0.3056	-0.3072	0.0015
						17	2.20	-0.2892	-0.2933	0.0041
						18	2.30	-0.2768	-0.2798	0.0030
						19	2.40	-0.2667	-0.2725	0.0057
						20	2.51	-0.2577	-0.2604	0.0028
						21	2.60	-0.2513	-0.2518	0.0005
						22	2.70	-0.2460	-0.2460	0.0019
						23	2.80	-0.2412	-0.2434	0.0022
						24	2.90	-0.2363	-0.2411	0.0048
						25	3.01	-0.2310	-0.2411	0.0101
						26	3.10	-0.2256	-0.2388	0.0132
						27	3.16	-0.2214	-0.2411	0.0197
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF						MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF				
9 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					-0.003	18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
STANDARD DEVIATION -----					0.011	STANDARD DEVIATION -----				
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF						MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3 -----				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE					0.002	STANDARD DEVIATION -----				
STANDARD DEVIATION -----					0.006					
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3 -----					0.002					
STANDARD DEVIATION -----					0.002					

Tabel 3.11. Vervolg

OBSERVATION WELL 4 IN LAYER 2 AT 5.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION	LOG.TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
1	0.48	-1.5562	-1.5850	0.0288
2	0.60	-1.4251	-1.4437	0.0186
3	0.70	-1.3311	-1.3279	-0.0032
4	0.78	-1.2593	-1.2441	-0.0151
5	0.90	-1.1525	-1.1367	-0.0158
6	1.00	-1.0762	-1.0555	-0.0207
7	1.10	-1.0051	-0.9914	-0.0137
8	1.20	-0.9321	-0.9245	-0.0076
9	1.30	-0.8708	-0.8601	-0.0107
10	1.40	-0.8141	-0.8097	-0.0045
11	1.51	-0.7568	-0.7520	-0.0048
12	1.60	-0.7097	-0.7122	0.0025
13	1.70	-0.6674	-0.6737	0.0063
14	1.80	-0.6286	-0.6383	0.0096
15	1.90	-0.5940	-0.6108	0.0169
16	2.00	-0.5661	-0.5800	0.0139
17	2.10	-0.5424	-0.5560	0.0135
18	2.20	-0.5204	-0.5302	0.0097
19	2.30	-0.5036	-0.5129	0.0092
20	2.40	-0.4898	-0.4962	0.0064
21	2.51	-0.4765	-0.4724	-0.0041
22	2.60	-0.4663	-0.4584	-0.0078
23	2.70	-0.4568	-0.4473	-0.0095
24	2.80	-0.4470	-0.4365	-0.0105
25	2.90	-0.4362	-0.4260	-0.0103
26	3.01	-0.4243	-0.4225	-0.0018
27	3.10	-0.4121	-0.4191	0.0070
28	3.16	-0.4029	-0.4179	0.0150
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
10 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0044
STANDARD DEVIATION				0.0159
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 4 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0034
STANDARD DEVIATION				0.0094
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 4				0.0006
STANDARD DEVIATION				0.0124
OBSERVATION WELL 5 IN LAYER 3 AT 5.0M OF PUMPED WELL				
OBSERVATION	LOG.TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN(M)	DRAWDOWN
1	1.15	-1.5016	-1.5086	0.0070
2	1.26	-1.3699	-1.3768	0.0068
3	1.34	-1.2748	-1.2596	-0.0152
4	1.43	-1.1867	-1.1805	-0.0063
5	1.53	-1.0986	-1.0915	-0.0071
6	1.62	-1.0273	-1.0410	0.0137
7	1.72	-0.9642	-0.9666	0.0024
8	1.81	-0.9076	-0.9101	0.0025
9	1.91	-0.8577	-0.8697	0.0119
10	2.01	-0.8182	-0.8210	0.0029
11	2.10	-0.7847	-0.7905	0.0058
12	2.21	-0.7538	-0.7645	0.0106
13	2.31	-0.7302	-0.7375	0.0074
14	2.40	-0.7098	-0.7077	-0.0020
15	2.51	-0.6901	-0.6840	-0.0061
16	2.61	-0.6737	-0.6615	-0.0121
17	2.70	-0.6579	-0.6364	-0.0215
18	2.80	-0.6410	-0.6234	-0.0175
19	2.91	-0.6221	-0.6073	-0.0148
20	3.01	-0.6015	-0.5969	-0.0046
21	3.10	-0.5807	-0.5834	0.0026
22	3.16	-0.5654	-0.5751	0.0097
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
4 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0019
STANDARD DEVIATION				0.0108
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 5 OF				
18 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0009
STANDARD DEVIATION				0.0105
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 5				-0.0011
STANDARD DEVIATION				0.0103
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS				-0.0000
STANDARD DEVIATION				0.0124
MEAN OF DEVIATIONS OF 85 OBSERVATIONS IN LAYER 1				0.0000
STANDARD DEVIATION				0.0129
MEAN OF DEVIATIONS OF 28 OBSERVATIONS IN LAYER 2				0.0006
STANDARD DEVIATION				0.0124
MEAN OF DEVIATIONS OF 22 OBSERVATIONS IN LAYER 3				-0.0011
STANDARD DEVIATION				0.0103

De hydraulische weerstand van de onderste slecht doorlatende laag bedraagt 87 dagen, wat overeenstemt met een verticale doorlatendheid van 0,031 m/d. De pompproef toont bijgevolg aan dat in de kreeksedimenten minder doorlatende tussenlagen voorkomen.

Door de pompproef wordt bovendien aangetoond dat voor een nauwkeurige bepaling van alle hydraulische parameters van een veellagig grondwaterreservoir een pompproef dient te worden uitgevoerd in zoveel mogelijk doorlatende lagen. Gezien het doel van de pompproef hier echter in hoofdzaak bestond in het bepalen van de parameters van de aangepompte laag en de weerstand van de bovenliggende slecht doorlatende laag volstaan de gevonden waarden.

4. STIJGHOOGTEWAARNEMINGEN

4.1. Algemeen

Grondwaterstroming treedt op als gevolg van energiever verschillen, waarbij de stroming steeds is gericht naar plaatsen met lagere energie. De energie in een punt van het grondwaterreservoir is de som van de kinetische energie en van de potentiële energie op die plaats. Vermits grondwaterstroming een zeer traag proces is kan de kinetische term worden verwaarloosd. De totale energie is bij gevolg in hoofdzaak bepaald door hoogte en druk.

De energie per massa-eenheid vloeistof wordt de hydraulische potentiaal genoemd (HUBBERT, 1940) :

$$\Phi = \int_{z_0}^z g \, \delta z + \int_{p_0}^p \frac{\delta p}{d(p)} \quad (L^2T^{-2}) \quad (4.1)$$

met g = de zwaartekrachtversnelling
 z_0 = de hoogte van het referentievlak = 0
 z = de hoogte van het beschouwde punt boven het referentievlak
 p_0 = de druk t.h.v. het referentievlak
 p = de druk t.h.v. het beschouwde punt
 $d(p)$ = de dichtheid van de vloeistof, enkel als functie van p beschouwd.

In deze vergelijking is de eerste term van het rechterlid de gravitatiepotentiaal die een maat is voor de invloed van de zwaartekracht op de watermoleculen en die enkel afhankelijk is van de plaats. De tweede term vertegenwoordigt de drukpotentiaal welke bepaald wordt door de vloeistofdruk en wordt uitgedrukt in functie van de atmosferische druk. Nabij de watertafel, waar atmosferische druk heerst, wordt de drukpotentiaal gelijk gesteld aan nul ; onder de grondwaterspiegel is deze potentiaal positief, in de onverzadigde zone negatief.

De stijghoogte in een punt van het reservoir wordt gedefinieerd als de energie per gewichtseenheid van de vloeistof en is gelijk aan de hydraulische potentiaal gedeeld door de zwaartekrachtversnelling. Met een konstante dichtheid wordt de formule :

$$h = \frac{\Phi}{g} = z + \frac{p}{\rho g} \quad (L) \quad (4.2)$$

Hierin is de plaatshoogte z de hoogte van het punt t.o.v. het referentievlak. De tweede term is de drukhoogte die wordt bepaald door de lengte van de vloeistofkolom (fig. 4.1). Gezien de eenvoudige dimensie waarin de stijghoogte wordt uitgedrukt is een rechtstreekse bepaling op het terrein mogelijk.

4.2. Factoren die de stijghoogte beïnvloeden

4.2.1. Algemeen

Grondwaterreservoirs zijn geen stationaire, doch dynamische systemen waarvan de toestand op een gegeven tijdstip wordt bepaald door de hydrologische randvoorwaarden. Iedere wijziging van deze voorwaarden zal de stijghoogten van het grondwater beïnvloeden. Dergelijke schommelingen kunnen worden veroorzaakt door natuurlijke of kunstmatige factoren. De voornaamste natuurlijke factoren zijn neerslag en verdamping ; grondwater-winning en oppervlaktewaterbeheersing zijn belangrijke kunstmatige invloeden.

Drie typen van schommelingen kunnen worden onderscheiden :

- meerjarige schommelingen (1^{ste} orde schommelingen), te wijten aan een opeenvolging van natte of droge jaren ;
- seizoenschommelingen (2^{de} orde schommelingen), bestaande uit een opeenvolging van opvullings- en afvloeiperioden ;
- onregelmatige schommelingen (3^{de} orde schommelingen), ten gevolge van korte perioden met hevige neerslag, grondwaterwinning enz.

4.2.2. Natuurlijke invloeden op de stijghoogte

Onder de stijghoogteschommelingen die het gevolg zijn van natuurlijke factoren zijn seizoenschommelingen, te wijten aan een opeenvolging van natte en droge perioden, de belangrijkste. Ze worden veroorzaakt door variaties in neerslaghoeveelheid en evapotranspiratie.

Het effect van deze meteorologische parameters op het grondwatersysteem kan worden gevisualiseerd met behulp van de waterbalans van de onverzadigde zone. Deze legt het verband tussen de hoeveelheid water die in de bodem binnendringt, deze verlaat of erin wordt geakkumuleerd.

De basisgegevens bij de berekening van de waterbalans van de onverzadigde zone zijn de neerslag, de potentiële evapotranspiratie en het vochtophoudend vermogen of veldkapaciteit. Laatstgenoemde parameter geeft het vochtgehalte (in mm) dat in de bodem wordt vastgehouden nadat het overtollige water is gedraineerd onder invloed van de zwaartekracht. Het is het water dat door de korrels wordt vastgehouden met een kracht groter dan de zwaartekracht. Slechts indien de veldkapaciteit is bereikt zal neerslagwater via de intergranulaire ruimten naar de watertafel doorsijpelen.

Uitgaande van de basisgegevens worden de berging van bodemvocht, de werkelijke evapotranspiratie en het tekort of overschot aan water in de bodem berekend. Indien geen oppervlakkige afvloeien en open waterverdamming (bv. aan plassen) optreden, is het berekende overschot op de balans de hoeveelheid water die doorsijpelt naar de watertafel en zorgt voor de aanvulling van het grondwater-reservoir. Het watertekort geeft aan in welke mate de verdamping de mogelijke evapotranspiratie niet kan evenaren en duidt de periode aan tijdens dewelke water uit de bodemreserve wordt onttrokken.

Op grond van de gemiddelde neerslag- en evapotranspiratiegegevens (resp. periode 1957-1987 en 1957-1976) van het weerstation te Koksijde werd een gemiddelde waterbalans opgesteld voor het studiegebied (tabel 4.1), waarbij de methode van THORNTHWAITE & MATTER (1955) werd toegepast. Wegens het kleiig karakter van de bodems in het studiegebied werd voor het vochtophoudend vermogen een waarde van 300 mm aangenomen (Vierde Vlaams Wetenschappelijk Congres voor Groenvoorziening, 1984). Dit is driemaal de waarde aangewend door L. LEBBE (1978) bij de berekening van de waterbalans voor de duinen in de Westhoek.

De gebruikte waarden voor de potentiële evapotranspiratie werden berekend met behulp van de methode van PENMAN (LEBBE, 1978). Waterbalansen berekend op basis van dergelijke PET-waarden blijken zeer goed overeen te stemmen met de waterhuishouding onder grasland, evenwel minder met deze onder cultuurgewassen (VAN HOVE, s.d.).

Tabel 4.1. Waterbalans van de onverzadigde zone op basis van de gemiddelde neerslag en evapotranspiratie (resp. 1957-1987 en 1957-1976).

Maand	R	PET	R-PET	ST	AET	DEF	SUR
Jan	54,7	4,0	50,7	300,0	4,0	0,0	50,7
Feb	39,4	8,1	31,3	300,0	8,1	0,0	31,3
Ma	49,4	26,2	23,2	300,0	26,2	0,0	23,2
Apr	41,5	46,5	-5,0	295,0	46,5	0,0	0,0
Mei	51,0	75,7	-24,7	271,7	74,3	1,4	0,0
Jun	58,6	90,5	-31,9	244,3	86,0	4,5	0,0
Jul	63,2	90,3	-27,1	223,2	84,3	6,0	0,0
Aug	60,6	72,2	-11,6	214,7	69,1	3,1	0,0
Sep	65,9	42,8	23,1	237,8	42,8	0,0	0,0
Okt	71,8	19,1	52,7	290,5	19,1	0,0	0,0
Nov	78,5	6,0	72,5	300,0	6,0	0,0	63,0
Dec	63,6	2,8	60,8	300,0	2,8	0,0	60,8
Totaal	698,2	484,2	214,0		469,2	15,0	229,0

R = neerslaghoeveelheid

PET = potentiële evapotranspiratie (PENMAN)

R-PET = wateroverschot (positief)/tekort (negatief)

ST = berging van bodemvocht

AET = werkelijke evapotranspiratie

DEF = tekort op de waterbalans

SUR = overschot op de waterbalans

Uit de balans blijkt dat de jaarlijkse neerslaghoeveelheid gemiddeld 698 mm bedraagt. Hiervan keert 469 mm terug naar de atmosfeer als gevolg van evapotranspiratie. Bijgevolg is er een overschot (R-AET) op de waterbalans van 229 mm. De voedingscoëfficiënt van het grondwater (SUR/R) kan aldus worden geraamd op 0,33 ; d.w.z. dat ca. 33% van de totale neerslaghoeveelheid de grondwatertafel bereikt.

Het volledige wateroverschot wordt geleverd tijdens de winterperiode (november-maart). De bodem bevat in deze periode een vochtgehalte dat hoger is dan de veldkapaciteit. Het neerslagoverschot komt volledig ten goede van het grondwaterreservoir, wat zich uit in een toename van de stijghoogten.

Tijdens de periode april-augustus is niet langer de neerslag doch de evapotranspiratie de dominerende faktor. Deze laatste overtreft de neerslaghoeveelheid waardoor vanaf mei een tekort op de bodemwaterbalans ontstaat. Er wordt water uit de berging verbruikt waardoor het gehalte aan bodemvocht afneemt van veldkapaciteit (300 mm) tot 215 mm. Bij maximale uitdroging in augustus blijft bijgevolg nog een vochtgehalte gelijk aan ca. 70% van de veldkapaciteit in de bodem bewaard. Deze relatief hoge waarde is een gevolg van de belangrijke neerslaghoeveelheden die de zomerperiode kenmerken.

Het grondwaterreservoir wordt in de zomer niet langer gevoed door neerslag ; de afvloeit van grondwater gaat evenwel door wat een daling van de stijghoogten tot gevolg heeft. Is de grondwatertafel ondiep gelegen (ca. 1 m beneden maaiveld) dan kan tevens een kapillaire opstijging van grondwater vanaf de watertafel naar de atmosfeer zich voordoen. Dit fenomeen, dat van belang is in zeer droge zomers zal de stijghoogten verder doen dalen.

In de maanden september en oktober wordt het overschot aan neerslag ten opzichte van de evapotranspiratie aangewend om de berging van het bodemvocht terug op zijn maximale waarde (veldkapaciteit) te herstellen. Slechts nadat deze waarde is bereikt zal opnieuw een doorstroming naar de watertafel plaatsvinden.

Figuur 4.2 is een weergave van de hogerbeschreven fysische processen en geeft tevens een overzicht van het overschot of tekort op de bodemwaterbalans.

De berekende waterbalans geeft een gemiddelde situatie weer. Van jaar tot jaar kunnen evenwel verschillen worden waargenomen, afhankelijk van de neerslaghoeveelheid. Het overschot op de waterbalans is in de beschouwde periode gekenmerkt door sterk uiteenlopende waarden, van 80 tot 474 mm. Deze variaties komen tot uiting als jaarlijkse of meerjaarlijkse schommelingen.

Het algemeen en regelmatig proces van opvulling en afvloeï kan worden verstoord door plotse, kortstondige variaties zoals perioden met hevige neerslag. Zo kan tijdens de afvloeiperiode toch een belangrijke tijdelijke stijging van het grondwaterpeil optreden. Dergelijke variaties zijn onregelmatige variaties.

Er dient opgemerkt dat de aangewende bodemwaterbalans van de onverzadigde zone geen rekening houdt met de aard van de begroeiing, welke nochtans een belangrijke invloed heeft op het vochtgehalte in de bodem en op het grondwaterpeil. Voor het studiegebied is in dit verband het onderscheid tussen grasbegroeiing (poelgebieden) enerzijds en begroeiing met cultuurgewassen (kreekgebieden) anderzijds van belang.

Tevens worden natuurlijke processen in de onverzadigde zone verstoord door kunstmatige ingrepen, waarbij vooral de kunstmatige afwatering met behulp van drainagebuizen in de onverzadigde zone een rol speelt. Dit systeem zorgt immers voor de preferentiële afvloeï van een belangrijke hoeveelheid neerslagwater, waardoor de doorsijpeling naar de watertafel wordt verminderd.

De invloed van begroeiing en kunstmatige drainage op de stijghoogten wordt uitvoerig besproken in paragraaf 4.6. .

4.2.3. Kunstmatige invloeden op de stijghoogte

4.2.3.1. Grondwaterwinning

In het studiegebied wordt, op grote schaal althans, geen water gewonnen uit de kwartaire lagen. Wel wordt water onttrokken door de bewoners uit de zandige kreek sedimenten, in hoofdzaak als drinkwater voor vee. De debieten zijn echter gering en de winning onregelmatig en kortstondig, zodat het regionale grondwaterstromingspatroon er weinig of niet wordt door verstoord.

4.2.3.2. Oppervlaktewaterbeheersing

4.2.3.2.1. Algemeen

Ten gevolge van het lage maaiveldpeil in de kustvlakte (+2,5 tot +4,5 m TAW) en de belangrijke wateraanvoer naar dit gebied vanuit de aangrenzende zandleem-streek is het studiegebied in het natte seizoen onderhevig aan wateroverlast. Vooral de landinwaarts gelegen gebieden kunnen het overvloedige water moeilijk verwerken.

Het probleem van wateroverlast leidde tot de ontwikkeling van een complex systeem van afwateringskanalen in het kustgebied, waarbij wordt gestreefd naar een welbepaald polderpeil. In wat volgt wordt dit systeem van kunstmatige waterbeheersing bondig geschetst. De invloed ervan op het regionale grondwaterstromingspatroon wordt besproken in paragraaf 4.6. .

4.2.3.2.2. De Noordwatering van Veurne - Ambacht

Het grootste deel van de westelijke kustvlakte maakt deel uit van de Noordwatering van Veurne - Ambacht (fig. 4.3) welke een oppervlakte beslaat van ca. 35.000 ha, waarvan ca. 7.000 ha behoren tot de zandleemstreek. De watering is in het westen begrensd door de Frans-Belgische grens, in het oosten en het zuiden door de IJzer, in het noorden door de duinengordel.

Het water van Veurne - Ambacht wordt naar twee lozingsplaatsen afgevoerd : Duinkerke en Nieuwpoort. Enkel het laatstgenoemde lozingspunt is van belang in het studiegebied.

De grote kanalen en waterlopen van Veurne - Ambacht, waaronder de IJzer, de Lovaart en het kanaal Veurne - Nieuwpoort, hebben ten gevolge van hun kunstmatig in stand gehouden hoge waterpeil, respectievelijk +3,14, +2,44 en +2,44, geen of een zeer geringe gravitaire afwateringsfunctie. Het Lokanaal werd oorspronkelijk wel aangewend voor de afwatering van Veurne - Ambacht, doch wordt thans in hoofdzaak gebruikt voor de ontlasting van de IJzer in perioden dat het IJzerpeil 0,30 tot 0,40 m boven het normaalpeil van +3,14 uitstijgt. Het overvloedige water mag worden geloosd via het Lokanaal zolang het waterpeil van de IJzer te Fintele het peil +4,64 niet overschrijdt.

De waterafvoer dient bijgevolg te gebeuren via kleinere afwateringskanalen. Het lozingspunt Nieuwpoort ontvangt op deze wijze water uit 7 stroomgebieden :

1. de Koolhofvaart (9.775 ha)
2. de Grote Beverdijkvaart (10.347 ha)
3. het pompemaal Steengracht (1.598 ha)
4. de Beverenbeekjes (1.152 ha)
5. de Kallebeek (244 ha)
6. de Zwijnbeek (455 ha)
7. het Langelis (6.908 ha)

De stroomgebieden 3 en 7 zorgen voor de afwatering van waterzieke gebieden die zich buiten het studiegebied bevinden ; ze worden niet verder besproken.

Het stroomgebied van de Koolhofvaart en dat van de Grote Beverdijkvaart hebben veel hydrologische eigenschappen gemeen. De grens tussen beide stroomgebieden is eerder kunstmatig (fig. 4.3). De stroomrichting van de waterlopen die op de waterscheidingslijn liggen is enerzijds afhankelijk van de onderhoudstoestand van de waterlopen en anderzijds van het tijdstip waarop de sluizen op de hoofdwaterlopen geopend worden.

Ten zuiden van Nieuwpoort vloeit de Koolhofvaart samen met de Grote Beverdijkvaart in de Aflozingsvaart van Veurne - Ambacht, die bij laag tijdstreks in de achterhaven van Nieuwpoort loost.

Door de sluis van Veurne - Ambacht wordt voor de beide stroomgebieden één enkelvoudig polderpeil geregeld : een winterpeil van +1,65 en een zomerpeil van +2,10 m TAW. Een dergelijk afwateringsstelsel is niet toereikend voor een optimale afwatering. Afhankelijk van de aanvoermogelijkheden, de lozingsomstandigheden en het bergingsvermogen van de hoofdafvoerkanalen kan wateroverlast optreden in de achterliggende polderstreek. Vooral de te hoge tijwaterstanden en de te korte lozingsduur spelen hierbij een rol. Daarentegen worden de gronden nabij Nieuwpoort gekenmerkt door een te grote drooglegging. Immers, voor de waterafvoer van meer stroomopwaarts gelegen gronden laat men in Nieuwpoort afzuigingen van 1,5 m (en meer) onder polderpeil toe (VOET, 1983).

De gebieden ten westen van de Lovaart dienen, vermits de waterafvoer via de Lovaart beperkt is, af te wateren via hevelduikers onder dit kanaal.

De stroomgebieden van de Beverenbeekjes, de Kallebeek en de Zwijnbeek zorgen voor de afwatering van een relatief klein gebied in Veurne - Ambacht (1.851 ha). De afwatering gebeurt rechtstreeks naar de IJzer.

Het inplanten van ruilverkavelingen heeft de afwatering plaatselijk verbeterd. Om de ruilverkaveling Wulpen tegen hoge waterstanden van buiten te beschermen werden klepstuwen gebouwd die tevens toelaten in de zomer een watervoorraad aan te leggen. In de ruilverkaveling Ramskapelle werd werk gemaakt van het rechtekken en de kalibratie van de waterlopen en werden eveneens klepstuwen aangebracht. Een zandwinning voor de aanleg van de autosnelweg A18 werd ingeschakeld als wachtkom (10 ha) op de benedenloop van de Koolhofvaart.

In de ruilverkaveling Lo worden de laaggelegen gronden in het Lo-Lege bemalen langs het Lokanaal en in de Sloggatvaart. Bovendien worden nieuwe bemalingen gepland : een bemaling van de Grote Beverdijkvaart en een bemaling van de natte gronden aan Fintele, telkens in de Lovaart.

Met de opname van de stroomgebieden van de Beverenbeekjes, de Kallebeek en de Zwijnbeek in de ruilverkaveling Beveren zal de afwatering worden bevorderd door middel van verbeteringen aan de detailontwatering door drainage en door de kalibratie van de waterlopen.

Een verregaande verbetering van de waterhuishouding in Veurne - Ambacht is voorzien voor de nabije toekomst. Deze kan niet worden verwezenlijkt door pompstations die uitslaan op waterlopen binnen de polder, daar zo de situatie voor andere lage poldergronden slechter wordt. Overpompings naar waterwegen wordt evenmin overwogen als oplossing omdat deze waterlopen een maximaal peil niet mogen overschrijden. Een recente studie (VOET, 1983) toonde aan dat de verbetering moet gezocht worden in een centraal pompstation op de samenvloeiing tussen Koolhofvaart en Grote Beverdijkvaart in de omgeving van Nieuwpoort teneinde de gehele polder te kunnen bemalen bij groot waterbezwaar. Aldus kan de lozingsperiode worden verlengd en kunnen de hoofdwaterlopen op een laag peil worden gehouden. Hoger gelegen gebieden die gevaar lopen te sterk te worden

ontwaterd worden door stuwen van de hoofdwaterlopen gescheiden en krijgen een eigen polderpeil.

Normalisatiewerken aan de IJzer zouden toelaten het normaal peil met ca. 0,70 m te verlagen waardoor het Lokanaal als afvoerkanaal kan worden aangewend.

4.3. Het stijghoogtemeetnet

Met het oog op het opmeten van de stijghoogten werden alle boorgaten die zandige sedimenten aansneden uitgerust met een PVC-filter, voorzien van een PVC-slijkbuis onderaan en een PVC-stijgbuis bovenaan. Indien mogelijk werden in elk boorgat twee peilbuizen aangebracht, een diepe die de basis van het grondwaterreservoir aansnijdt en een ondiepe die in de nabijheid van de watertafel werd geplaatst.

Het filterelement van de peilbuizen had nagenoeg steeds een lengte van 1,0 m ; in enkele speciale gevallen werd een filterlengte van 0,5 m aangewend. De diameter bedroeg steeds 40 mm.

Het filterelement werd omstort met grof, gekalibreerd zand. Ter hoogte van slecht doorlatende lagen en steeds nabij het maaiveld werd het boorgat afgesloten d.m.v. een kleistop. Dit was nodig om grondwaterstroming tussen verschillende lagen via het boorgat te vermijden.

De opbouw van een dergelijk hydrogeologisch waarnemingsstation is weergegeven in figuur 4.4.

In het totaal kan worden beschikt over 90 peilbuizen. De voornaamste kenmerken ervan zijn opgenomen in bijlage 3 ; de ligging ervan is weergegeven op plaat 4.1. . De peilbuizen worden aangegeven door een tweeledig symbool. Het eerste deel van het symbool omvat het overeenkomstige boornummer, het tweede deel geeft aan hoeveel peilbuizen in het boorgat werden aangebracht. In het geval van één peilbuis, wordt het boornummer gevolgd door "F" ; werden twee peilbuizen aangebracht, dan slaan de symbolen "F1" en "F2" respectievelijk op de diepe en de ondiepe peilbuizen.

De peilbuizen werden na plaatsing langdurig schoongepompt, dit tot de resistiviteit van het opgepompte water een konstante waarde bereikte. De peilbuis is dan volledig gevuld met water van eenzelfde dichtheid overeenstemmend met het grondwater in de formatie op de diepte van het filterelement. Slechts in dit geval zijn nauwkeurige stijghoogtemetingen mogelijk.

De stijghoogtemetingen gebeurden maandelijks, telkens in het begin van de maand (5^e-10^e dag). De stijghoogte werd niet voor alle peilbuizen over een even lange periode opgemeten. Voor ongeveer de helft van de peilbuizen, geplaatst in september - oktober 1985, gebeurde dit vanaf februari 1986. Het meetnet was nagenoeg volledig vanaf juli 1986 (peilbuizen geplaatst in mei 1986) ; enkele aanvullende peilbuizen werden ingeschakeld vanaf oktober 1986.

De metingen werden voor alle peilbuizen beëindigd in december 1987.

Het regionaal grondwaterstromingspatroon werd bestudeerd voor het zandig gebied te Avekapelle - Pervijze (plaat 4.2.). De ligging van de peilbuizen aangewend voor dit onderzoek kan worden gevonden op plaat 4.3. .

Gezien het belang van de oppervlaktewaterbeheersing in het kustgebied was het bij de studie van de regionale grondwaterstromingspatronen noodzakelijk de wisselwerking tussen grondwater en oppervlaktewater te bestuderen. Met het oog hierop werden de waterpeilen van de voornaamste afwateringskanalen opgemeten. De waarnemingspunten op deze kanalen zijn eveneens voorgesteld op de plaat 4.3.

4.4. Zoetwaterstijghoogten

Het voorkomen van grondwater met verschillend zoutgehalte in het studiegebied (zoet, brak, zout) vereist bijzondere aandacht bij de vergelijking van de waargenomen stijghoogten. Immers, formule 4.1 toont dat de stijghoogte in belangrijke mate wordt bepaald door de dichtheid van de vloeistof. Worden stijghoogten, gemeten in waters met verschillende dichtheid, vergeleken zonder het uitvoeren van de juiste korrekties, dan komt men gemakkelijk tot foute konklusies ten aanzien van de stromingsrichting.

De te verrichten korrekties bestaan in de omrekening van de stijghoogte gemeten in grondwater met een bepaald zoutgehalte tot een overeenkomstige zoetwaterstijghoogte. Het spreekt voor zich dat metingen uitgevoerd in grondwater met een

gering zoutgehalte (< 1600 mg/l) slechts verwaarloosbare afwijkingen ten opzichte van de zoetwaterstijghoogten vertonen.

De druk uitgeoefend door een waterkolom met dichtheid d_i wordt gegeven door de algemene formule :

$$p = [(h_i - z) \cdot d_i \cdot g] + p_a \quad (4.3)$$

met p = de druk ter hoogte van het filterelement van de peilbuis

p_a = de atmosferische druk

h_i = de stijghoogte van het water met dichtheid d_i

z = de plaatshoogte

d_i = de dichtheid van het water

g = de zwaartekrachtversnelling

Omrekening naar een equivalente zoetwaterstijghoogte h_f veronderstelt een zoetwaterkolom met dichtheid d_f die eenzelfde druk uitoefent t.h.v. het filterelement van de peilbuis. Bijgevolg geldt :

$$[(h_i - z) \cdot d_i \cdot g] + p_a = [(h_f - z) \cdot d_f \cdot g] + p_a \quad (4.4)$$

met h_f = de zoetwaterstijghoogte

d_f = de dichtheid van zoet water

Aangezien de dichtheid van zoet water d_f gelijk gesteld wordt aan 1 g/cm^3 wordt de zoetwaterstijghoogte gegeven door :

$$h_f = [(h_i - z) \cdot d_i] + z \quad (4.5)$$

De onbekende in deze vergelijking is de dichtheid d_i van het grondwater. Deze kan worden afgeleid uit het totale zoutgehalte TDS van het grondwater met behulp van de formule van VAN DAM (1977) :

$$d_{i,t} = 1000 + 0,8504 \text{ TDS} - 0,0065 (t - 4 + 0,2214 \text{ TDS})^2 \quad (4.6)$$

met $d_{i,t}$ = de dichtheid van het grondwater, afhankelijk van de temperatuur
(kg/m³)
TDS = het totale zoutgehalte van het grondwater (g/l)
t = de temperatuur van het grondwater (° C)

Het totale zoutgehalte TDS kan worden verkregen door middel van chemische analyse van het grondwater, of kan worden afgeleid uit de resistiviteit ρ_w van het grondwater, die wordt gemeten in de peilbuis. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de volgende formule : (LEBBE & PEDE, 1986) :

$$TDS = \frac{10.000}{\rho_w} \quad (4.7)$$

waarbij de TDS wordt verkregen in mg/l indien ρ_w wordt uitgedrukt in ohmm bij een temperatuur van 11 °C.

4.5. Stijghoogtevariatiies

4.5.1. Algemeen stijghoogteverloop

4.5.1.1. Tijd - stijghoogtelijnen

Teneinde de schommelingen van de stijghoogten in de tijd weer te geven werd voor alle peilbuizen een tijd - stijghoogtelijn opgesteld. Deze laten toe de invloed van veranderingen in het hydrologisch systeem op de stijghoogte te achterhalen.

De tijd - stijghoogtelijnen zijn voorgesteld in bijlage 4. Om een snelle en eenvoudige vergelijking tussen de verschillende peilbuizen mogelijk te maken werd voor elke peilbuis dezelfde stijghoogteschaal gekozen.

4.5.1.2. Metingen

Meest in het oog springend bij de studie van de stijghoogtekurven zijn de seizoen- of 2^e orde schommelingen die tot uiting komen als afwisselende, nagenoeg halfjaarlijkse perioden met hoge en lage stijghoogten. De waarnemingen in het studiegebied werden aangevat in februari 1986 tijdens een periode met grote stijghoogten die aanhield tot april 1986. Hierop volgden respectievelijk een fase met

geringe stijghoogten tot oktober 1986, een periode met toename van de stijghoogten tot april 1987, een nieuwe afvloeiperiode tot augustus en plaatselijk tot september 1987 en tenslotte van oktober 1987 tot het einde van de meetperiode in december 1987 opnieuw een interval met hoog grondwaterniveau.

Vergelijking van deze seizoenvariatiën per jaar toont dat, ondanks de relatief korte duur van de waarnemingen, jaarlijkse of 1^e orde verschillen kunnen worden vastgesteld. Zo verschilt de periode met lage stijghoogten in 1986 duidelijk van deze van 1987 ; de minimale stijghoogte ligt in eerstgenoemde periode ca. 0,2 m lager dan in 1987. Ook vangt de fase met hoge stijghoogten in het najaar in 1986 pas aan in oktober, in 1987 daarentegen reeds in augustus of september.

Onregelmatige of 3^e orde schommelingen verstoren het algemeen beeld van opvulling en afvloeien en verlenen de grafieken een typische zaagtandstructuur. Voorbeelden van dergelijke variaties zijn de lage stijghoogten in februari 1987 in een fase met hoge stijghoogten en de droge periode 1987 gekenmerkt door een daling van de stijghoogte in mei, juli en september en een toename in juni en augustus. Een aantal peilbuizen te Avekapelle vertonen een vertraging van één maand op dit patroon, met toename in juni en augustus en een afname in juli.

4.5.1.3. Interpretatie van de meetresultaten

Het verband tussen de waargenomen stijghoogteschommelingen en de meteorologische parameters kan, zoals reeds aangegeven in paragraaf 4.2.2., het best worden verklaard aan de hand van de waterbalans van de onverzadigde zone. Een dergelijke balans werd opgesteld voor de jaren 1985, 1986 en 1987 (tabel 4.2 ; fig. 4.5. en 4.6.) ; het zijn de jaren die betrekking hebben op de meetperiode.

Daar voor deze tijdsspanne geen PET-gegevens volgens PENMAN beschikbaar waren werd voor de berekening van de balansen gebruik gemaakt van de gemiddelde PET-waarden voor de periode 1957-1976. Gezien de geringe variatie van de maandelijkse PET-waarden in de tijd vormen de berekende balansen een zeer goede benadering van de werkelijke waterhuishouding in de onverzadigde zone.

De ongelijke toestand in 1986 en 1987 wordt duidelijk door vergelijking van de jaarbalansen met de gemiddelde balans besproken in paragraaf 4.2.2. (tabel 4.1).

Tabel 4.2. Vergelijking van de individuele waterbalansen 1985, 1986 en 1987 met de gemiddelde waterbalans (tabel 4.1.) (alle waarden in mm).

Maand	Neerslag				Berging van bodemvocht			
	Gemid.	1985	1986	1987	Gemid.	1985	1986	1987
Jan	54,7	90,6	101,1	30,1	300,0	300,0	300,0	300,0
Feb	39,4	7,0	8,2	28,9	300,0	298,9	300,0	300,0
Ma	49,4	69,0	78,6	68,9	297,7	300,0	300,0	300,0
Apr	41,5	43,8	71,8	28,1	289,5	297,3	300,0	282,2
Mei	51,0	82,5	28,3	52,2	262,6	300,0	256,2	260,9
Jun	58,6	90,2	35,9	101,3	231,4	299,7	213,5	271,7
Jul	63,2	88,2	35,4	85,1	213,5	297,6	177,8	266,5
Aug	60,6	74,4	91,6	108,1	209,3	299,8	197,2	300,0
Sep	65,9	13,5	46,3	60,4	231,0	272,7	200,7	300,0
Okt	71,8	36,6	103,0	87,9	263,2	290,2	284,6	300,0
Nov	78,5	76,2	90,3	-	291,8	300,0	300,0	-
Dec	63,6	76,3	97,4	-	299,1	300,0	300,0	-

Maand	Tekort				Overschot			
	Gemid.	1985	1986	1987	Gemid.	1985	1986	1987
Jan	0,0	0,0	0,0	0,0	42,7	86,6	97,1	26,1
Feb	0,0	0,0	0,0	0,0	36,7	0,0	0,1	20,8
Ma	0,1	0,0	0,0	0,0	15,8	41,7	52,4	42,7
Apr	0,5	0,0	0,0	0,6	3,1	0,0	25,3	0,0
Mei	3,9	0,0	3,6	2,2	2,2	4,1	0,0	0,0
Jun	10,6	0,0	11,9	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Jul	10,2	0,0	19,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0
Aug	9,4	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	1,7
Sep	2,9	2,2	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	17,6
Okt	0,1	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	0,0	68,8
Nov	0,0	0,0	0,0	-	52,1	64,2	68,9	-
Dec	0,0	0,0	0,0	-	50,8	73,5	94,6	-

Bijkomende informatie wordt geleverd in figuur 4.7., welke de maandelijkse neerslaghoeveelheden in de meetperiode weergeeft als verhouding tot de gemiddelde maandelijkse neerslagen (periode 1957-1987).

De eerste periode met hoge stijghoogten valt samen met de opvullingsperiode november 1985 - april 1986, welke een belangrijk overschot op de waterbalans vertoont, vooral in de maanden december, januari en maart. In februari is er evenwel een tekort van ca. 37 mm in vergelijking met de gemiddelde toestand ; dit tekort uit zich als de relatief lage stijghoogte waargenomen in maart 1986. De opvullingsperiode duurt langer dan normaal ; ze reikt tot in april met een wateroverschot van ca. 25 mm in deze maand.

De hierop volgende afvloeiperiode van 1986 is droger dan normaal ; de neerslaghoeveelheid ligt, behalve voor augustus, duidelijk onder de gemiddelde waarden , net als de berging aan bodemvocht. Het bodemvochtgehalte bedraagt nog slechts 59% van de veldcapaciteit tegenover 70% normaal. Het deficit op de balans is maximaal in juli en bedraagt nagenoeg het dubbele van de gemiddelde waarde. Augustus en oktober zijn vochtige maanden met een hogere neerslag dan normaal, doch deze wordt volledig aangewend om het bodem-vochtgehalte aan te vullen zodat geen doorstroming naar de grondwatertafel optreedt. Aldus worden de zeer lage stijghoogten in de maand oktober verklaard.

Vanaf november 1986 vindt opnieuw een doorsijpeling van neerslagwater naar de grondwatertafel plaats, waardoor het grondwaterpeil stijgt. Een belangrijk overschot wordt waargenomen in de maanden november, december en maart, doch een geringer overschot in januari en februari (cfr. neerslaghoeveelheden in fig. 4.7.). Het belangrijke overschot in december is te wijten aan de zware regenval gedurende de laatste 10 dagen van deze maand ; dit wordt weerspiegeld in de uitgesproken hoge stijghoogten in het begin van januari. Het geringere overschot in januari en februari uit zich in een daling van de stijghoogten in februari. Het globale overschot voor de gehele opvullingsperiode (november 1986 - maart 1987) is slechts weinig lager dan dit van de opvullingsperiode 1985-1986, wat aanleiding geeft tot nagenoeg gelijke stijghoogten in de beide perioden.

In april 1987 begint opnieuw een afvloeiperiode met lage stijghoogten. Deze is echter veel minder uitgesproken dan normaal ; de neerslaghoeveelheid is hoger dan de gemiddelde waarde, vooral in juni en augustus (fig. 4.7.), en de berging aan

bodemvocht blijft hoog. Het bodemvochtgehalte neemt slechts af tot 87% van de veldkapaciteit ; er treedt bijgevolg nagenoeg geen deficit op op de waterbalans. De daling van de stijghoogten is dan ook veel minder uitgesproken dan in 1986 en de hoge neerslagwaarden zorgen in juni en augustus zelfs voor een tijdelijke verhoging van de stijghoogten, wat een verklaring is voor het zaagtandpatroon van de tijd - stijghoogtelijnen in deze tijdsspanne.

De herstelling van het bodemvochtgehalte tot veldkapaciteit vereist weinig neerslag. Plaatselijk reeds in augustus en zeker vanaf september 1987 is er een overschot op de balans met opnieuw een toename van de stijghoogten naar zeer hoge waarden. De opvullingsperiode begint bijgevolg veel vroeger dan in 1986.

Samenvattend kan de meetperiode, in vergelijking met de gemiddelde toestand, als volgt worden gekarakteriseerd :

- de opvullingsperiode '85 -'86 : te nat, normaal begonnen, duurt iets langer ;
- de afvloeiperiode '86 : te droog, duurt één maand langer ;
- de opvullingsperiode '86 -'87 : iets te nat, doch niet in alle maanden ;
- de afvloeiperiode '87 : te nat, 2 à 3 maanden te vroeg beëindigd ;
- de opvullingsperiode '87 -'88 : veel vroeger gestart, te nat.

4.5.2. Gemiddelde zoetwaterstijghoogten

Het meteorologisch verschil tussen 1986 en 1987 kan eveneens worden aangetoond door middel van de gemiddelde stijghoogten berekend voor de tijdsspanne mei 1986 - april 1987, welke de droge afvloeiperiode van 1986 omvat en de tijdsspanne november 1986 - oktober 1987 welke de "natte" afvloeiperiode van 1987 in rekening brengt.

De gemiddelde stijghoogten zijn opgenomen in tabel 4.3. Het verschil tussen beide bedraagt globaal 0,23 m met als uiterste waarden 0,094 en 0,359 m. Daar deze gemiddelden eenzelfde opvullingsfase omvatten is dit verschil volledig te wijten aan het uiteenlopend karakter van beide afvloeiperioden.

De berekening van de gemiddelde zoetwaterstijghoogten voor de gehele meetperiode werd bemoeilijkt daar niet alle peilbuizen even lang werden opgemeten. Voor de putten in de Avekapellekreek konden diverse gemiddelden worden

Tabel 4.3. Gemiddelde zoetwaterstijghoogten (m TAW)

Peilbuis	1*	2*	3*	4*	Peilbuis	1*	2*	3*	4*
SB1 F1	+2,572	+2,710	0,138	+2,657	SB31 F1	+2,887	+3,140	0,253	+3,024
F2	+2,581	+2,719	0,138	+2,664	F2	+2,864	+3,110	0,246	+2,989
SB2 F1	+3,114	+3,363	0,249	+3,221	SB32 F1	+2,791	+3,067	0,276	+2,926
F2	+3,102	+3,335	0,233	+3,201	F2	+2,783	+3,056	0,273	+2,914
SB3 F1	+3,240	+3,464	0,224	+3,342	SB33 F1	+2,789	+3,028	0,239	+2,902
SB4 F	+2,966	+3,249	0,283	+3,109	F2	+2,722	+2,955	0,233	+2,836
SB5 F1	+2,248	+2,456	0,208	+2,368	SB34 F1	+2,756	+2,968	0,212	+2,871
F2	+2,227	+2,446	0,219	+2,341	F2	+2,731	+2,942	0,211	+2,847
SB6 F1	+2,548	+2,868	0,320	+2,737	SB35 F1	+2,415	+2,693	0,278	+2,543
F2	+2,561	+2,885	0,324	+2,749	F2	+2,351	+2,614	0,263	+2,467
SB7 F1	+2,540	+2,829	0,289	+2,687	SB36 F	+2,674	+2,881	0,207	+2,729
F2	+2,538	+2,834	0,296	+2,688	SB37 F	+2,273	+2,488	0,215	+2,397
SB8 F1	+2,963	+3,019	0,056	+3,013	SB38 F1	+2,683	+2,989	0,307	+2,830
F2	+2,618	+2,670	0,052	+2,675	F2	+2,574	+2,802	0,228	+2,697
SB9 F	+2,186	+2,331	0,145	+2,266	SB39 F1	+2,412	+2,518	0,106	+2,473
SB10 F1	+2,727	+3,036	0,309	+2,856	F2	+2,042	+2,133	0,091	+2,099
F2	+2,673	+3,017	0,344	+2,836	SB40 F1	+2,743	+3,051	0,317	+2,905
SB11 F	+2,715	+2,965	0,250	+2,848	F2	+2,639	+2,956	0,317	+2,805
SB12 F1	+2,939	+3,215	0,276	+3,099	SB41 F1	+2,295	+2,488	0,193	+2,412
F2	+2,951	+3,310	0,359	+3,140	F2	+2,211	+2,401	0,190	+2,314
SB13 F	+3,065	+3,241	0,176	+3,132	SB42 F1	+2,909	+3,231	0,322	+3,087
SB14 F	+2,963	+3,292	0,329	+3,155	F2	+2,552	+2,892	0,340	+2,740
SB16 F	+3,031	+3,309	0,278	+3,162	SB43 F1	+2,264	+2,450	0,186	+2,392
SB17 F	+3,232	+3,515	0,283	+3,348	F2	+2,133	+2,315	0,182	+2,265
SB21 F	+2,958	+3,244	0,286	+3,100	SB44 F	+2,275	+2,369	0,094	+2,368
SB22 F1					SB47 F	+2,909	+3,217	0,308	+3,104
F2					SB48 F	+2,329	+2,458	0,129	+2,421
SB23 F	+3,083	+3,362	0,279	+3,201	SB49 F1	+2,581	+2,759	0,178	+2,677
SB24 F	+3,217	+3,472	0,255	+3,327	F2	+2,459	+2,642	0,183	+2,558

Tabel 4.3. Vervolg

Peilbuis	1*	2*	3*	4*	Peilbuis	1*	2*	3*	4*
SB26 F1	+2,567	+2,845	0,278	+2,699	HSB1 F	+2,250	+2,364	0,114	+2,308
F2	+2,471	+2,764	0,293	+2,610	HSB2 F	+2,560	+2,883	0,323	+2,727
SB27 F1	+2,447	+2,634	0,187	+2,547	HSB2 F	+2,560	+2,883	0,323	+2,727
F2	+2,412	+2,594	0,182	+2,507	HSB3 F	+2,563	+2,828	0,265	+2,712
SB28 F1	+2,658	+2,974	0,316	+2,674	HSB4 F	+2,484	+2,666	0,182	+2,591
F2	+2,482	+2,765	0,283	+2,631	HSB5 F	+2,559	+2,828	0,269	+2,689
SB29 F1	+2,314	+2,558	0,244	+2,444	HSB7 F	+2,014	+2,112	0,098	+2,082
F2	+2,254	+2,501	0,247	+2,385	HSB23 F	+2,225	+2,416	0,191	+2,342
SB30 F1	+2,418	+2,535	0,117	+2,486					
F2	+2,438	+2,550	0,112	+2,519					

1* = gemiddelde voor de periode mei 1986 - april 1987

2* = gemiddelde voor de periode november 1986 - oktober 1987

3* = verschil tussen 1 en 2

4* = gemiddelde voor de gehele meetperiode (februari 1986 - december 1987)

berekend, naargelang van de aanvangsdatum van de metingen (februari, april, juli of november 1986). Teneinde de verschillende peilbuizen op een juiste wijze te kunnen vergelijken dienden de gemiddelde zoetwaterstijghoogten herleid te worden tot een gemiddelde voor een zelfde periode ; hiervoor werd de tijdsspanne april 1986 - december 1987 gekozen.

De omrekening van de gemiddelden geschiedde aan de hand van 21 peilbuizen die over de gehele gekozen periode werden opgemeten. Voor deze peilbuizen kon aldus een gemiddelde stijghoogte worden berekend voor de gehele periode, alsook voor de kortere meetperioden vanaf de hoger vermelde data. De gemiddelden voor de kortere perioden vertoonden allen een eigen, konstant verschil (positief of negatief) met het gemiddelde voor de gehele periode. Optelling van het juiste verschil bij de gemiddelden gaf de vereiste gemiddelde zoetwaterstijghoogte voor alle peilbuizen.

De peilbuizen in de IJzerkreek en in de omgevende poelgebieden werden nagenoeg alle opgemeten vanaf februari 1986 ; de gemiddelde zoetwaterstijghoogten konden bijgevolg, na aanvulling van de ontbrekende waarden door vergelijking met nabijgelegen peilbuizen, eenvoudig worden bepaald. De enkele peilbuizen die over een kortere periode werden opgemeten dienden te worden behandeld op de hoger beschreven manier.

Aldus werden de gemiddelde zoetwaterstijghoogten, opgenomen in tabel 4.3., verkregen. In deze tabel zijn eveneens de gemiddelde oppervlaktewaterpeilen weergegeven. De berekende gemiddelde stijghoogten liggen tussen deze van het droge jaar 1986 en het natte jaar 1987 ; beide jaren compenseren elkaar. Ondanks het feit dat de meetperiode niet beantwoordt aan de normale toestand kon bijgevolg toch een goede benadering van de normale gemiddelde stijghoogten bekomen worden.

4.5.3. Minimale en maximale stijghoogten

De minimale stijghoogte werd voor alle peilbuizen waargenomen op het einde van de zeer droge afvloeiperiode van 1986, meestal in de maand oktober. Voor enkele peilbuizen, hoofdzakelijk in de IJzerkreek of in de randzone van de kustvlakte kon in oktober evenwel reeds een toename van de stijghoogte worden vastgesteld. De minimale stijghoogte in deze peilbuizen werd bereikt in september (SB2 F1,F2 ; SB14

F ; SB23 F ; SB24 F ; SB38 F1 ; HSB5 F) of zelfs reeds in augustus (SB3 F ; SB13 F ; SB17 F ; SB22 F1,F2).

De maximale stijghoogte daarentegen werd bereikt op sterk uiteenlopende data. Algemeen kan evenwel worden gesteld dat zowel de opvullingsperiode 1986-1987 als deze van 1987-1988 gekenmerkt zijn door zeer hoge stijghoogten. De stijghoogten zijn bovendien voor beide perioden nagenoeg gelijk waardoor ofwel in de ene ofwel in de andere periode het absolute maximum werd waargenomen.

In de Avekapellekreek is vooral januari 1987 de maand met uitgesproken hoge stijghoogten (voor 34 peilbuizen). Voor 14 peilbuizen wordt het hoogste grondwaterpeil bereikt in de periode oktober-december 1987.

In de IJzerkreek en omliggende gebieden is echter vooral het najaar van 1987 belangrijk. 21 peilbuizen bereiken dan hun maximum ; 7 peilbuizen vertonen hun maximum gespreid over de maanden januari-april 1987, 3 peilbuizen over de maanden mei-juni 1986.

De maximale stijghoogteschommeling is sterk afhankelijk van de plaats waar de peilbuis zich bevindt. Voor de Avekapellekreek wordt dit geïllustreerd op plaat 4.4., welke lijnen met gelijke stijghoogtevariatie weergeeft. De grootste variaties worden waargenomen in het centrum van de Avekapellekreek, in de zones met de hoogste stijghoogten, welke op hun beurt corresponderen met de hoogste maaiveldpeilen. De stijghoogtevariatie bedraagt er 1,5 tot 1,6 m. Naar de randen van de Avekapellekreek toe worden de schommelingen beperkt tot ca. 1,0 m, om in de poelgebieden, ten gevolge van het geringe maaiveldpeil, nog slechts 0,6 tot 0,9 m te bedragen

Belangrijk is ook de regulariserende werking van de afwateringskanalen welke nagenoeg op een konstant zomer - en winterpeil worden gehouden. De maximale peilvariatie in deze kanalen bedraagt ca. 0,50 m. Peilbuizen gelegen in de buurt van deze kanalen ondervinden hiervan duidelijk invloed. Peilbuis SB39 F2, gelegen op ca. 15 m van de Kromme Gracht en in de zone met hoogste topografie, vertoont slechts een maximale stijghoogteschommeling van 0,6 m.

De invloed van de afwateringskanalen reikt in de zandige kreekgebieden relatief ver. Peilbuis SB30 F2, op ca. 150 m van de Kromme Gracht, vertoont slechts een maximale variatie van 0,80 m ten opzichte van 1,20 tot 1,50 m in de niet beïnvloede

zones van de Avekapellekreek. Het belang van de kanalen is evenwel niet altijd even uitgesproken. Zo is de peilbuis HSB4 F, gelegen op slechts 30 m van het Zoutenaaleed, gekenmerkt door relatief grote schommelingen, tot 1,20 m.

De geringe peilvariatie in de afwateringskanalen en de grote stijghoogteschommelingen in de zandige kreekgebieden maakt bovendien dat tijdens droge zomers het peil van de kanalen de stijghoogten in de omringende gebieden overschrijdt. In deze perioden treedt niet langer afwatering op, doch eerder irrigatie.

In de IJzerkreek en de omliggende gebieden kan eenzelfde tendens worden vastgesteld met belangrijke schommelingen in de IJzerkreek en geringe schommelingen in de poelgebieden. In de randzone van de kustvlakte kunnen de poelgebieden evenwel, als gevolg van het relatief hoge maaiveldpeil, gekenmerkt zijn door vrij belangrijke stijghoogtevariaties (tot 1,40 m).

Het waterpeil in de IJzer wordt nagenoeg konstant gehouden op het peil +3,14 m TAW. De maximale peilschommeling in de meetperiode bedraagt 0,36 m.

4.6. Het regionaal grondwaterstromingspatroon

4.6.1. Hydro-isohypsenkaarten

Het regionaal grondwaterstromingspatroon kan worden afgeleid uit het ruimtelijk stijghoogteverloop, dat op zijn beurt wordt gevisualiseerd d.m.v. hydro-isohypsenkaarten die lijnen van gelijke zoetwaterstijghoogte weergeven. Een dergelijke kaart is een momentopname die het stijghoogteverloop op één welbepaald tijdstip en bij voorkeur op éénzelfde diepte voorstelt.

Om het beoogde doel, met name de studie van de hydrologische wisselwerking tussen grondwater en oppervlaktewater en tussen kreek- en poelgebieden, te bereiken werd het onderzoek toegespitst op de Avekapellekreek en omliggende gebieden, waar alle hogergenoemde elementen vertegenwoordigd zijn. Voor dit gebied werden 9 hydro-isohypsenkaarten op schaal 1/25.000 opgesteld (plaat 4.5. tot 4.13.). Een eerste kaart is een weergave van het algemeen gemiddeld grondwaterstromingspatroon, afgeleid uit de gemiddelde zoetwaterstijghoogten. De seizoenvariaties worden aangetoond met behulp van 7 driemaandelijke kaarten voor de periode april 1986 tot oktober 1987 ; de voorgestelde situaties werden zo gekozen dat

het stromingspatroon bij de hoogste en bij de laagste grondwaterstand in de reeks zijn opgenomen. Om het effect van droge zomers zoals deze van 1986 te visualiseren werd een bijkomende hydro-isohypsenkaart getekend voor de maand augustus 1986.

De kaarten geven de stijghoogten op een diepte van ca. 5 m beneden maaiveld, d.w.z. op het peil $-1,2 \pm 1,5$ m TAW aan.

Op de kaarten zijn de belangrijkste afwateringskanalen aangeduid. Het waterpeil ervan werd op 4 plaatsen opgemeten ; het waterpeil aangewend bij het tekenen van de kaarten is het gemiddelde van de 4 peilen, die meestal bij benadering gelijk zijn.

De zoetwaterstijghoogte in de poelgebieden kon slechts worden bepaald aan de hand van twee peilbuizen (SB44 F en SB48 F). De aangenomen stijghoogte in deze laaggelegen gebieden is het gemiddelde van de stijghoogte in de beide peilbuizen. Alle poelgebieden die de Avekapellekreek omringen worden verondersteld eenzelfde grondwaterpeil te vertonen. Dit is aannemelijk vermits het maaiveldpeil er nagenoeg overal gelijk is en het afwateringssysteem eenzelfde polderpeil nastreeft. De afwijkingen op dit gemiddeld grondwaterpeil zullen bijgevolg klein zijn en het grondwaterstromingspatroon niet doen verschillen van de op de kaarten voorgestelde situaties.

4.6.2. Het regionaal grondwaterstromingspatroon te Avekapelle - Pervijze

4.6.2.1. De gemiddelde toestand

Het algemene grondwaterstromingspatroon kan worden afgeleid uit de kaart die de gemiddelde zoetwaterstijghoogte voorstelt (plaat 4.5.). In het bestudeerde gebied kan de Avekapellekreek duidelijk in 4 afzonderlijke gebieden worden onderverdeeld die hydrogeologisch van elkaar gescheiden zijn door afwateringskanalen. Het betreft :

- een westelijk gebied, tussen de Proostdijkvaart en de Kromme Gracht
- een centraal gebied, tussen de Kromme Gracht en de Oude Aa-Vaart
- een oostelijk gebied, ten oosten van de Oude Aa-Vaart
- een zuidelijk gebied, ten zuiden van de Kromme Gracht, in het zuiden begrensd door de Leerzevaart.

Deze gebieden, behalve dit ten oosten van de Oude Aa-Vaart vertonen eenzelfde grondwaterstromingspatroon gekenmerkt door een afvloeï naar de omringende poelgebieden met laag grondwaterpeil enerzijds en afwatering naar de kanalen anderzijds. Het verschil tussen de stijghoogten in de Avekapellekreek en deze in de poelgebieden en de afwateringskanalen is vrij gering, respektievelijk 0,5 en 0,9 m. De stijghoogteverschillen zijn het grootst in het zuidelijk gebied.

Het piëzometrisch verhang naar de afwateringskanalen en naar de poelgebieden is klein en bedraagt gemiddeld 1/500. Uitgaande van dit verhang kan de stroomsnelheid van het grondwater worden berekend met behulp van de formule :

$$v' = \frac{k \cdot i}{\alpha} \quad (4.8)$$

met v' = de werkelijke snelheid (m/d)
 k = de hydraulische doorlatendheid (m/d)
 i = het piëzometrisch verhang
 α = de porositeit

Indien als gemiddelde doorlatendheid van de kreeksedimenten 8 m/d wordt aangenomen en de porositeit wordt gelijkgesteld aan 0,4 kan de veralgemeende grondwatersnelheid worden geraamd op ca. 15 m/jaar.

Het gebied ten oosten van de Oude Aa-Vaart vertoont een volledig verschillend stromingspatroon. De gemiddelde stijghoogte is er plaatselijk lager dan deze in de poelgebieden zodat hier vermoedelijk een stroming van de poelgebieden naar dit gebied, en vervolgens naar de Aa-Vaart optreedt. Voor dit gebied zijn, omwille van het beperkt aantal gegevens, geen lijnen van gelijke stijghoogte getekend ; wel wordt de vermoedelijke stromingsrichting aangeduid.

4.6.2.2. De seizoenvariaties

De driemaandelijke kaarten (plaat 4.6. tot 4.13.) die de variatie van het stromingspatroon in de tijd weergeven tonen aan dat gedurende het grootste deel van het jaar het grondwaterstromingspatroon beantwoordt aan de hoger beschreven gemiddelde situatie. Perioden met hoge stijghoogten zijn gekenmerkt door een toename van het stijghoogteverschil (1,10 m t.o.v. de poldergronden en 1,60 m t.o.v. de

afwateringskanalen), wat zich uit in een vergroting van het stijghoogteverhang tot 1/200. Een dergelijk verhang stemt overeen met een veralgemeende grondwatersnelheid van ca. 40 m/jaar.

In perioden met lage stijghoogten kan het piëzometrisch verhang afnemen tot 1/3000, zoals in het centrale gebied, waardoor de benaderende grondwater-snelheid nog slechts 2 m/jaar bedraagt.

Het gebied ten oosten van de Oude Aa-Vaart blijft gedurende het grootste deel van het jaar gekenmerkt door een toestroming vanuit de poldergronden. Slechts in zeer natte omstandigheden keert de grondwaterstroming zich om met afvloeï naar de poelgebieden.

4.6.2.3. De toestand in droge perioden

Gedurende droge zomers, zoals deze van 1986, wordt het normale grondwater-stromingspatroon grondig verstoord. Voorbeelden hiervan zijn de kaarten voor augustus en oktober 1986 (plaat 4.8. en 4.9.). De poelgebieden vertonen in dergelijke droge omstandigheden een hogere stijghoogte dan de Avekapellekreek, waardoor de grondwaterstroming niet langer geschiedt naar de poelgebieden toe, doch omgekeerd. Bovendien blijkt dat in belangrijke delen van de Avekapellekreek de stijghoogte zich onder het waterpeil van de kanalen bevindt. Hierdoor zorgen deze kanalen niet langer voor een afwatering, maar irrigeren ze de omringende zones. Dit fenomeen was vooral uitgesproken in het westelijk gebied waar in augustus 1986 het grondwaterpeil overal lager was dan het peil van de oppervlaktewaters.

De oorzaak van de hoge stijghoogte in de poelgebieden in de zomer dient voor een deel te worden gezocht in de ongelijke invloed die de afwateringsgrachten uitoefenen op de poelgebieden enerzijds en de zandige kreekgebieden anderzijds. Gezien de geringe doorlatendheid van de sedimenten in de poelgebieden is de ontwatering via de kanalen en het invloedsareaal van deze kanalen beperkter dan in de zandige kreeksedimenten. Bijgevolg is de afname van de stijghoogten in de Avekapellekreek meer uitgesproken.

Dit is evenwel geen voldoende verklaring. Immers, het waterpeil in de kanalen bevindt zich gedurende een aantal maanden boven de stijghoogte in de Avekapellekreek zodat de stijghoogteafname in droge perioden groter is dan deze veroorzaakt door de afvloeï via de afwateringsgrachten. De omkering van de

grondwaterstroming is bijgevolg niet zozeer te wijten aan de hoge stijghoogte in de poelgebieden, doch vooral aan de abnormaal lage stijghoogten in de Avekapellekreek.

Eén van de factoren verantwoordelijk voor dit zeer lage grondwaterpeil is het verschil in evapotranspiratie tussen de Avekapellekreek en de omliggende poelgebieden wegens de verschillende begroeiing. De poelgebieden liggen in hoofdzaak onder weiland ; de Avekapellekreek is daarentegen gekenmerkt door akkerbouw met suikerbieten, mais en tarwe als belangrijkste cultuurgewassen. De verschillen in de waterhuishouding van de onverzadigde zone, veroorzaakt door een verschillende begroeiing zijn belangrijk zoals werd aangetoond door VAN HOVE (s.d.) die voor leemgronden een vergelijking maakte tussen gras, wintertarwe en suikerbieten (fig. 4.8.).

Het onderzoek van VAN HOVE toonde aan dat het waterverbruik door cultuurgewassen dit van gras duidelijk overtreft. Voor gras werd tijdens het groeiseizoen een afname van het vochtgehalte in de leembodem vastgesteld met ca. 25 mm/maand, voor cultuurgewassen bedroeg deze afname 50 mm/maand. Het waterverbruik in de bovenste bodemzone (0-60 cm diepte) was voor alle gewassen nagenoeg gelijk ; de verschillen uitten zich in de diepere bodemzones (60-120 cm en 120-180 cm diepte). Dit is een rechtstreeks gevolg van de ongelijke worteldiepte welke voor gras ca. 0,3 m bedraagt, doch voor cultuurgewassen meer dan 1,0 m kan bereiken (SCHOELLER, 1962). Ten gevolge van het diepere wortelstelsel zal bij cultuurgewassen naarmate de bovenste bodemzone verder uitdroogt de nalevering uit de diepere zones toenemen ; dit zal veel minder het geval zijn onder grasland. VAN HOVE stelde vast dat voor gras de uitdroging van de bodem niet verder reikte dan 80 cm diepte, met een maximum op 50 cm diepte. Voor cultuurgewassen kon evenwel, in zeer droge omstandigheden, een verregaande uitdroging van de diepste bodemzone (120-180 cm) worden waargenomen met een verbruik van ca. 75% van de nuttige waterhoeveelheid ; in de zone 60-120 cm werd zelfs het verwelkingspunt bereikt.

Bovendien dient aangestipt dat de interceptie van neerslag belangrijk wordt voor cultuurgewassen. Het gevolg hiervan is dat kleine neerslaghoeveelheden in de zomer niet kunnen bijdragen tot de aanvulling van het bodemvocht, doch terugkeren naar de atmosfeer via evapotranspiratie (APPELMANS & VAN HOVE, s.d.).

Het feit dat kultuurgewassen, en vooral suikerbieten veel water verbruiken tot in het najaar (augustus-september-oktober) kan bijdragen tot de verklaring van de zeer lage stijghoogten die juist in die periode werden waargenomen.

Hogergenoemde vaststellingen werden gedaan voor leembodems en in omstandigheden die verschillen van deze in het studiegebied. Alhoewel de invloed van de gewassen op de waterhuishouding en de worteldiepte sterk worden bepaald door de specifieke lokale omstandigheden, mag toch worden aangenomen dat de kultuurgewassen in de Avekapellekreek het grondwaterpeil sterk zullen beïnvloeden zodat aldus een verregaande verlaging van het grondwaterpeil in de Avekapellekreek mag worden verklaard.

Een tweede faktor die mogelijkwijze bijdraagt tot de sterke ontwatering van de zandige kreeksedimenten is het menselijke ingrijpen onder de vorm van ondiepe drainagebuizen. Deze worden, zoals waargenomen op het terrein, veelvuldig aangebracht in de kreekgebieden wegens de geschiktheid van deze gronden voor akkerbouw, doch veel minder in de poelgebieden die enkel geschikt worden geacht als weiland. Deze drainagebuizen zorgen voor de afvoer van belangrijke hoeveelheden infiltrerend neerslagwater, zodat het bodemvochtgehalte wordt verlaagd.

5. HYDROCHEMIE

5.1. Inleiding

De samenstelling van het grondwater in de kustvlakte en het grillige patroon waarin de verschillende kwaliteiten voorkomen is het gevolg van de geologische evolutiegeschiedenis van het kustgebied. Opeenvolgende mariene en continentale afzettingssomstandigheden hebben hun invloed gehad op de huidige grondwaterkwaliteit.

Wegens hun geringe doorlatendheid en de als gevolg hiervan zeer trage grondwaterstroming vertoont vooral het grondwater in de poldergebieden nog duidelijk de sporen van deze opeenvolgende ontwikkelingsfasen. De evolutie van de grondwaterkwaliteit in de doorlatende kreekgebieden ving in hoofdzaak aan nadat de zee zich definitief had teruggetrokken uit het kustgebied.

Op dat ogenblik waren de kwartaire sedimenten verzadigd met zout water, in het overgrote deel van de kustvlakte met een samenstelling gelijk aan deze van zeewater. De dominante ionen waren bijgevolg Cl, Na, Mg en SO_4 .

Als gevolg van de infiltratie van neerslagwater werd, vooral in de hoger gelegen kreekgebieden en in veel mindere mate in de laaggelegen poelgebieden het zoute water geleidelijk aan verdreven. Het infiltrerende zoete en CaHCO_3 -rijke water zorgde voor een verdringing van de opgeloste mariene ionen, om vervolgens ook de aan de kleifractie geadsorbeerde ionen te vervangen door Ca- ionen uit het water (kationuitwisseling).

Naarmate meer zoet water binnendrong werd het zoute water steeds verder teruggedrongen naar de diepere delen van het kwartaire grondwaterreservoir.

Dit verdringen van zout door zoet water, in een milieu dat oorspronkelijk in chemisch evenwicht was met de zee, bepaalt ook nu nog het voorkomen van de verschillende watertypes in de kustvlakte.

5.2. Voormalig hydrochemisch onderzoek

In de periode 1963-1973 werd door het Geologisch Instituut een systematische hydrogeologische en hydrochemische studie uitgevoerd in de kustvlakte. Aan de hand van ruim 1700 geo-elektrische Wenner-sonderingen, boringen en grondwateranalyses werd de kaart "Diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water in de freatische laag van het Belgische Kustgebied" opgesteld (DE BREUCK e.a. , 1974).

Op de kaart bevindt het grensvlak tussen zoet en zout water zich in het grootste deel van het studiegebied op minder dan 5 m diepte. In de laaggelegen poelgebieden van de driehoek Zoutenaie - Driekapelle - Stuivekenskerke en in de polders te Noord-schote ligt dit grensvlak zelfs op minder dan 2 m diepte.

De dieptelijn van 5 m geeft min of meer nauwkeurig het verloop weer van de kreekgebieden die de westelijke kustvlakte doorsnijden. De twee belangrijkste kreekgebieden, de Avekapellekreek en de IJzerkreek, en hun onderlinge verbinding komen op de kaart duidelijk tot uiting.

Gebieden met een belangrijke zoetwatervoorraad, d.w.z. met het verziltingsvlak op meer dan 10 m diepte, zijn weinig talrijk en kennen een geringe uitbreiding. Slechts ter hoogte van Avekapelle en Nieuwkapelle worden dergelijke zoetwatervoorraden aangetroffen.

De smalle IJzervallei stroomopwaarts Pollinkhove vormt een westelijke uitloper van de verzilde kustvlakte. De maximale uitbreiding van "zout" water in westelijke richting is op de kaart aangegeven te Beveren. Deze meest westelijke verziltingsgrens in de IJzervallei stemt nagenoeg overeen met het uitwigen van de IJzerkreek op de Bodemkaart van België.

5.3. Methoden aangewend bij het eigen kwaliteitsonderzoek

Informatie over de grondwaterkwaliteit werd in het bestek van deze studie verkregen uit geo-elektrische boorgatmetingen (resistiviteitsmetingen) en uit de chemische analyse van grondwaterstalen ; het zijn klassieke methoden die algemeen worden toegepast. Eerstgenoemde onderzoekstechniek verschaft enkel gegevens over het totale zoutgehalte van het grondwater en over de verspreiding van zoet, brak en zout water. De chemische samenstelling van het water (concentratie van de

verschillende ionen), de aard van de chemische en fysische processen die de waterkwaliteit hebben beïnvloed en de hydrochemische evolutie van het grondwater in de loop van de opeenvolgende geologische evolutiestadia kunnen slechts worden afgeleid na analyse van het grondwater in het laboratorium.

Het toepassen van de onderzoeksmethoden op de zandige kreekgebieden kon zonder moeilijkheden gebeuren. De praktische uitvoering van de geo-elektrische boorgatmetingen enerzijds en de staalname van het grondwater anderzijds, de vertaling van de gemeten resistiviteiten naar totaal zoutgehalte van het grondwater, de verwerking van de grondwateranalyses en de met beide methoden verkregen resultaten worden uitvoerig uiteengezet in paragraaf 5.5. .

De weinig doorlatende sedimenten van de poelgebieden zorgden daarentegen voor een belangrijk probleem. De geo-elektrische boorgatmetingen werden tot op heden slechts geijkt voor zandige sedimenten ; het verband tussen resistiviteit en zoutgehalte van het water was voor fijnkorrelige afzettingen, zoals klei, leem en veen, nog niet ondubbelzinnig vastgelegd. Het zijn echter juist deze sedimenten die in de poelgebieden voorkomen.

Wegens de geringe doorlatendheid van de sedimenten in de poelgebieden was het verzamelen van waterstalen met peilbuizen niet mogelijk. Informatie over de samenstelling van het grondwater in deze gebieden kon dus niet op de normale manier worden verkregen. Nochtans is de kennis ervan zeker zinvol, daar als gevolg van de zeer trage grondwaterstroming de hydrochemische evolutie van het grondwater er waarschijnlijk nog volledig in de chemische samenstelling tot uiting komt.

Er diende dan ook een techniek te worden gezocht om representatieve waterstalen uit fijnkorrelige sedimenten op een snelle en akkurate wijze te verzamelen. Er werd gekozen voor een in West-Europa vrij nieuwe en weinig toegepaste methode, de "high pressure filtration technique" , waarbij poriënvloeistof uit grondstalen wordt geperst door het uitoefenen van druk. De theoretische achtergrond van deze methode, de toepassing ervan op het studiegebied en de verkregen resultaten vormen het onderwerp van paragraaf 5.6. Met behulp van deze onderzoekstechniek is het thans mogelijk ook op fijnkorrelige sedimenten zeer gedetailleerde grondwaterkwaliteitsstudies uit te voeren.

5.4. Factoren die de grondwaterkwaliteit bepalen

5.4.1. Algemeen

Hoewel de grondwaterkwaliteit in de weinig doorlatende poelgebieden het resultaat is van meerdere opeenvolgende mariene en continentale omstandigheden is de huidige grondwatersamenstelling in de kustvlakte toch in grote mate bepaald na de definitieve terugtrekking van de zee. Infiltrerend neerslagwater zorgde voor een verdringing van het in de sedimenten aanwezige zeewater, waardoor een verzoeting van het kwartaire grondwaterreservoir optrad.

Voor de kreekgebieden zijn, door hun hoge topografische ligging ten opzichte van de omliggende lage poelgebieden en hun hoofdzakelijk zandige samenstelling, een geschikt milieu voor de infiltratie van neerslagwater welke geschiedt met een hoeveelheid gelijk aan het jaarlijkse neerslagoverschot. Het infiltratiewater verdrijft het zoute water naar de diepere delen van de watervoerende laag. De verdringing van zout door zoet water blijft doorgaan tot een evenwicht is bereikt. Dit dynamisch evenwicht wordt gehandhaafd door het neerslagoverschot, dat naar de grondwatertafel infiltreert en ondergronds wegstroomt ; het is meestal bereikt vooraleer al het konnate zeewater is uitgespoeld.

De infiltratie van neerslagwater wordt in de omliggende poelgebieden vaak belemmerd door hun lage ligging, de intensieve ontwatering (par. 4.2.3.) en de geringe doorlatendheid van de samenstellende sedimenten. Het ontstaan van een uitgebreide zoetwaterlens wordt bijgevolg verhinderd. Deze laaggelegen gebieden zijn dan ook gekenmerkt door het ondiep voorkomen van zout of brak water. Het aanwezige zoete water is afkomstig van ondergrondse afstroming uit de kreekgebieden of, nabij de watertafel, van de beperkte infiltratie van neerslagwater.

Het grensvlak tussen zoet en zout grondwater is nooit scherp ; door hydrodynamische dispersie en diffusie ontstaat een zone van brak water, waarin de concentratie aan opgeloste stoffen geleidelijk toeneemt van deze van zoet grondwater naar deze van zout grondwater. Het resulterende gehalte van een stof is dan gelijk aan het gewogen gemiddelde van de overeenkomstige gehalten in de samenstellende delen.

De grondwatersamenstelling wijkt echter meestal sterk af van deze van normaal mengwater, ontstaan door een eenvoudige menging van de twee uitersten, neerslagwater en zeewater. Een aantal chemische processen, die vaak gelijktijdig optreden zijn hiervoor verantwoordelijk.

De scheikundige samenstelling van het grondwater dat op een bepaalde plaats wordt aangetroffen is dan ook het resultaat van een vaak complexe wisselwerking tussen vele factoren :

- (1) een reeks processen die optreden tijdens de infiltratie van het neerslagwater doorheen de onverzadigde zone naar de grondwatertafel ;
- (2) de reactie van het recent geïnfiltreerde water met het oorspronkelijk in de sedimenten aanwezige grondwater ;
- (3) de wisselwerking tussen het grondwater en de sedimenten en een reeks langzame scheikundige processen tijdens het verblijf in de watervoerende laag ;
- (4) de verstoring van de grondwatersamenstelling door menselijke activiteit.

5.4.2. Processen die de samenstelling van het ondiepe grondwater bepalen

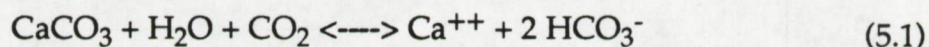
Het zoete water in de kustvlakte is wegens de vergevorderde uitspoeling van het sediment nog slechts weinig beïnvloed door het konnate zeewater. De samenstelling ervan is vooral bepaald door de processen die in de onverzadigde zone optreden.

Vooraleer het neerslagwater de watertafel bereikt ondergaat het belangrijke kwaliteitswijzigingen. De verdamping, die bij de infiltratie van neerslagwater optreedt, veroorzaakt een verhoging van het gehalte van de opgeloste stoffen ; de onderlinge verhoudingen blijven hierbij ongewijzigd. De mate waarin de gehalten toenemen wordt bepaald door de indampingsfaktor welke de verhouding is tussen de totale neerslaghoeveelheid en de hoeveelheid die de grondwatertafel bereikt : $\text{neerslag} / (\text{neerslag} - \text{verdamping})$.

In de onverzadigde zone worden, in aanwezigheid van zuurstof, organische verbindingen door mikroörganismen en planten omgezet tot CO_2 en H_2O waarbij O_2 wordt verbruikt. Stikstof en zwavel, die in de organische verbindingen aanwezig zijn, worden omgezet tot respektievelijk NO_2 , NO_3 en SO_4 . Nadat het aanwezige zuurstof is opgebruikt zullen bij de afbraak van organische stof nitraten (denitrifikatie), sulfaten (sulfaatreduktie) en CO_2 (metaangisting) dienst doen als

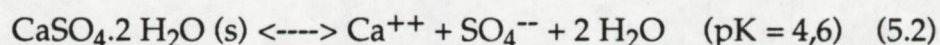
waterstofacceptor, waardoor NH_3 , H_2S , CH_4 en uiteindelijk CO_2 worden gevormd (BAARS, 1960 ; MEINARDI, 1974).

De verschillende stofwisselingsprocessen zorgen nagenoeg alle voor de produktie van CO_2 , waardoor de partiële CO_2 - druk in de bodem sterk wordt verhoogd. Het geproduceerde CO_2 kan CaCO_3 dat in de ondergrond vooral aanwezig is onder de vorm van schelpkalk, oplossen volgens het evenwicht :



De kalkoplossing gaat door tot het oplosbaarheidsprodukt van CaCO_3 ($\text{pK} = 8,3$) is bereikt ; in de praktijk komen licht oververzadigde waters echter veelvuldig voor.

Indien het grondwater rijk is aan SO_4 kan het oplosbaarheidsprodukt van gips bepalend zijn :



De kalkoplossing geeft aanleiding tot grondwater dat rijk is aan Ca en HCO_3 , wat kenmerkend is voor de meeste ondiepe zoete grondwaters.

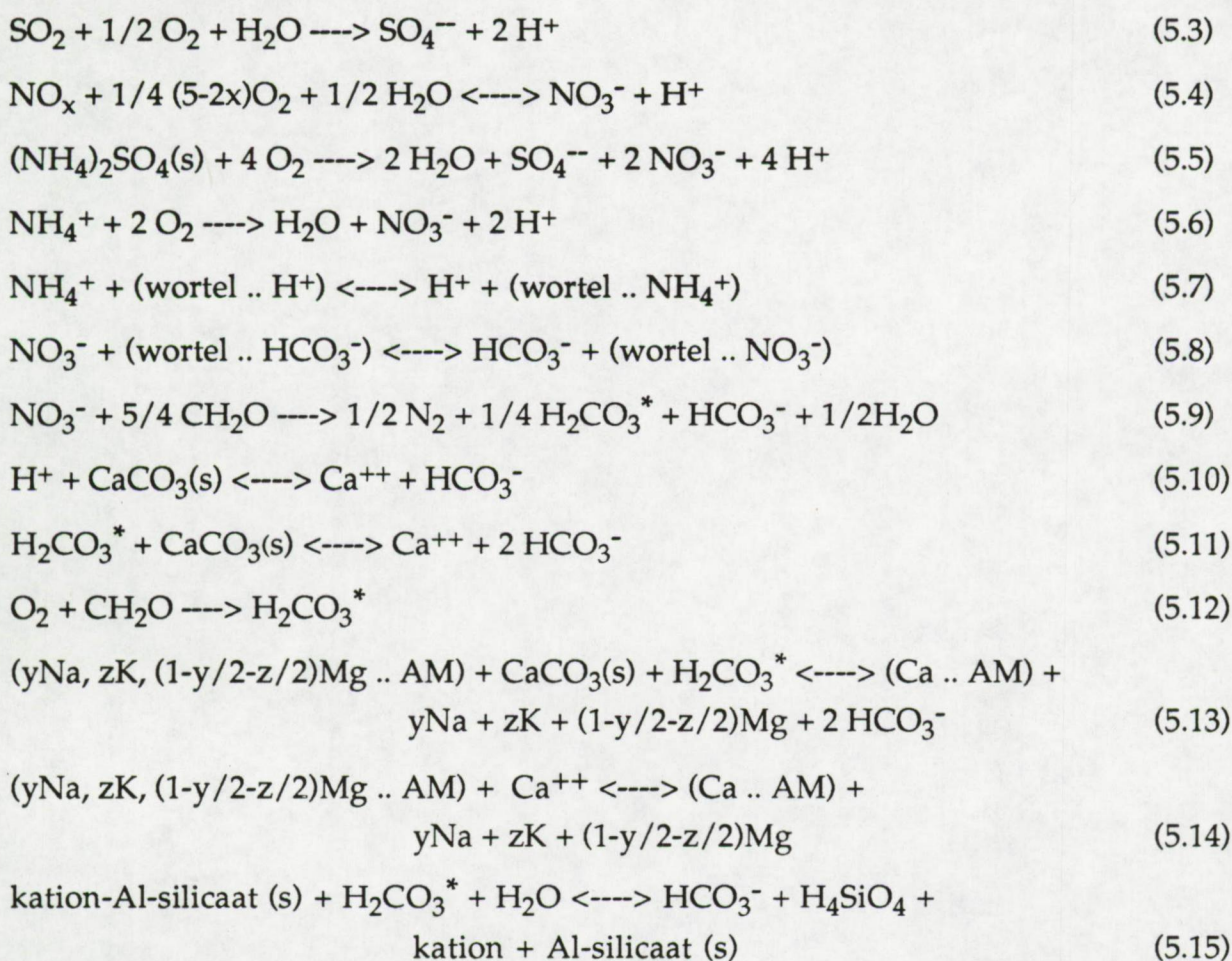
In bodems die ijzersulfiden bevatten, zoals de kleiige afzettingen aan de top van de kwartaire sedimenten in de kustvlakte, geeft de oxydatie ervan aanleiding tot sterk verhoogde sulfaatgehalten in het grondwater, eventueel gepaard gaande met verhoogde ijzergehalten. Dit laatste ion slaat echter vrij snel neer daar het slechts stabiel is in een beperkt aantal omstandigheden.

Wijzigingen in de samenstelling van het infiltrerende water kunnen eveneens het gevolg zijn van kationuitwisseling. Dit proces is evenwel vooral belangrijk voor het diepere, meer mariene grondwater; het wordt dan ook onder die hoofding verder uiteengezet.

STUYFZAND (1985) beschrijft de verschillende processen die de samenstelling van het infiltratiewater beïnvloeden door middel van reactievergelijkingen (tabel 5.1 en 5.2). De processen kunnen gesynthetiseerd worden als volgt :

- (1) indamping van neerslagwater, met een toename van het gehalte van alle bestanddelen ;
- (2) droge depositie en oxydatie van de luchtverontreinigingsbestanddelen SO_2 , NO_x en $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ volgens resp. (5.3) t/m (5.5). Het resultaat is een verhoging van de SO_4 - en NO_3 -gehalten;
- (3) nitrifikatie van ammonium volgens (5.6) en opname van NH_4 door de begroeiing : uitwisseling van NH_4^+ voor H^+ door plantewortels volgens (5.7), met afname van het NH_4 -gehalte;
- (4) gedeeltelijke opname van NO_3 door de begroeiing : uitwisseling van NO_3^- voor HCO_3^- door plantewortels volgens (5.8) en/of gedeeltelijke denitrifikatie volgens (5.9), beide leidend tot een vermindering van het bij (5.4) t/m (5.6) gevormde NO_3^- ;
- (5) oplossing van kalk volgens (5.10) door in regenwater aanwezig vrij zuur en het bij (5.3) t/m (5.7) gevormde zuur;
- (6) oplossing van kalk door H_2CO_3^* volgens (5.11) ; het H_2CO_3^* ontstaat als CO_2 door biologische stofwisseling of afbraak volgens (5.9) en/of (5.12);
- (7) kationuitwisseling volgens (5.13) met resulterende oplossing of precipitatie van kalk, of volgens (5.14). Welke reactie optreedt is afhankelijk van de handhaving van het kalkevenwicht en de gelijktijdige vorming of het verbruik van CO_2 ;
- (8) oplossing van aluminiumsilikaten, ruwweg volgens (5.15), en oplossing van kwarts, voor het grootste deel door toedoen van organische verbindingen. Beide processen geven aanleiding tot een verhoging van het SiO_2 -gehalte, doch zijn van gering belang;
- (9) oxydatie van ijzersulfiden (pyriet = FeS_2 en mackinawiet = FeS) door O_2 en NO_3 volgens (5.16) t/m (5.19) wat aanleiding geeft tot soms zeer hoge sulfaatgehalten. De Fe^{++} -toename wordt verhinderd door oxydatie met O_2 en NO_3 volgens (5.20) en (5.21) of eventueel gebufferd door vorming van sideriet volgens (5.22) en ionuitwisseling , b.v. volgens (5.23).
Het resultaat van de reacties (5.18) en (5.19) houdt in feite een soort uitwisseling van SO_4^{--} voor NO_3^- in. Waarschijnlijk geldt deze reactie waar weinig NO_3 wordt opgeslagen in vegetatie en/of denitrifikatie optreedt. De pH-verlaging t.g.v. (5.16), (5.20) en (5.21) of de pH-verhoging t.g.v. (5.18) en (5.19) wordt voornamelijk gebufferd door het oplossen of neerslaan van kalk volgens (5.10).

Tabel 5.1. Reacties die de samenstelling van ondiep grondwater bepalen (zonder oxydatie van ijzersulfiden)



waarin :

H_2CO_3^* = $\text{CO}_2 \text{ aq} + \text{H}_2\text{CO}_3$ = de totale concentratie aan opgelost CO_2 , al of niet gehydrateerd

H_4SiO_4 = hoedanigheid van SiO_2 in oplossing

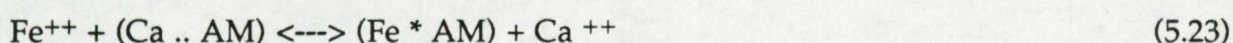
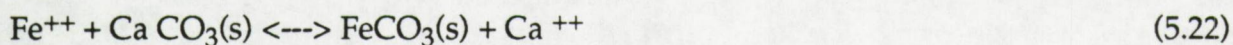
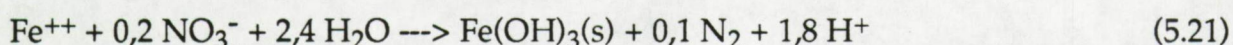
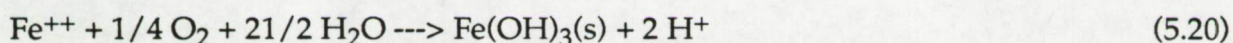
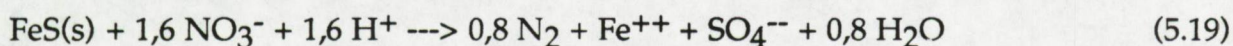
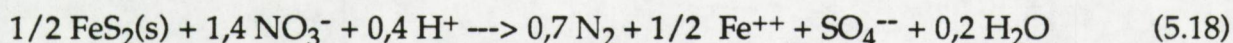
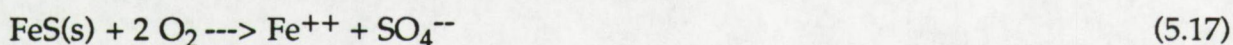
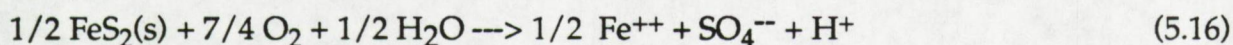
(..) = ionenwisselaar (plantenwortel = wortel ; AM = adsorberend medium) met betreffende ion(en)

(s) = in vaste fase

CH_2O = organische stof, niet specifiek

$0 < \text{y} + \text{z} < 2$

Tabel 5.2. Reacties met betrekking tot de oxydatie van ijzersulfiden en het vrijkomende Fe^{++} door O_2 en NO_3 , alsook met betrekking tot de buffering van de Fe^{++} -toename door oplossing van kalk en ionuitwisseling.



5.4.3. Processen die de samenstelling van het diepere grondwater bepalen

De kwaliteitsveranderingen die optreden in de verzadigde zone zijn meestal het gevolg van de wisselwerking tussen het grondwater en het sediment, welke belangrijker wordt naarmate de duur van het contact tussen beide agentia toeneemt, en van de afname van de reduceerbare stoffen in het water. Zuurstof en nitraat, voor zover nog aanwezig, verdwijnen ; het sulfaat kan geheel of gedeeltelijk worden gereduceerd.

Twee processen verdienen in het bestek van deze studie nadere aandacht : de kationuitwisseling en de sulfaatreductie.

5.4.3.1. Kationuitwisseling

In sedimenten, die in de loop der tijd werden doorstroomd door waters met een uiteenlopend zoutgehalte, wordt de grondwaterkwaliteit in belangrijke mate bepaald door kationuitwisseling aan het oppervlak van kleideeltjes die altijd in mindere of meerdere mate aanwezig zijn in de formaties. Hierbij worden sommige kationen gemakkelijker uitgewisseld dan andere.

De affiniteit van de uitwisselaar voor de diverse kationen volgt uit de theorie van de elektrische dubbellagen ; bepalend hierbij is de valentie van het ion. De affiniteit van de uitwisselaar is groter voor divalente ionen dan voor monovalente ; deze affiniteit neemt echter af bij een toename van de ionsterkte van de oplossing om bij zoute oplossingen geheel te verdwijnen. Zo zal een uitwisselaar in evenwicht met zoet water hoofdzakelijk divalente kationen bevatten, in evenwicht met zout water evenwel hoofdzakelijk monovalente kationen.

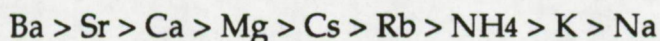
De affiniteit t.o.v. kationen met gelijke lading is afhankelijk van de ionstraal (of de gehydrateerde straal). Ionen met een kleine ionstraal vertonen een grotere ladingsdichtheid per eenheid van volume. Dergelijke ionen worden sterker gehydrateerd en vertonen dus een grotere gehydrateerde straal. Hoe groter deze laatste, hoe moeilijker de ionen het oppervlak van de uitwisselaar kunnen naderen en hoe kleiner dus de Coulombse aantrekkingskracht. De affiniteit van de uitwisselaar is dus groter voor kationen met een kleine gehydrateerde straal (STUMM & MORGAN, 1981).

De ionstraal van de voornaamste kationen is gegeven in tabel 5.3 .

Tabel 5.3 Ionstraal van de voornaamste ionen (JENNY & REITEMEIER,1935)

ION	STRAAL (nm)	ION	STRAAL (nm)
Li	68	Mg	66
Na	97	Ca	99
K	133	Sr	112
NH ₄	143	Ba	134
Rb	147		
Cs	167		

Hogergenoemde vaststellingen hebben geleid tot de affiniteitssequentie van HOFMEISTER (STUMM & MORGAN, 1981) :



waarbij de ionen zijn gerangschikt volgens afnemende affiniteit, bij verzadiging met zoet water.

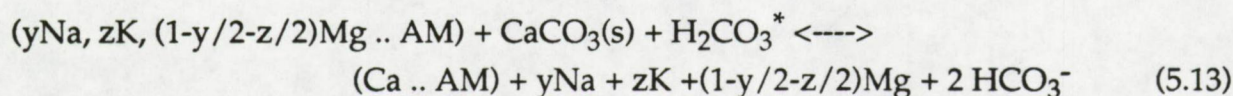
In sedimenten verzadigd met zout water zijn typische mariene ionen aan de uitwisselaar, de kleifractie, gebonden. Het betreft hoofdzakelijk de kationen Na, K, en Mg.

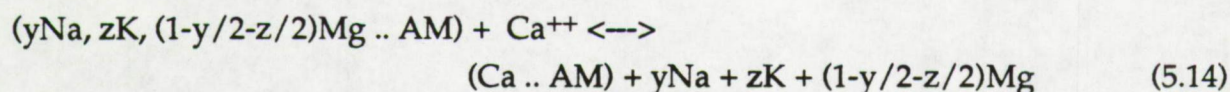
Bij een verdringing van dit zout water door infiltrerend zoet water, dat door kalkoplossing rijk is aan Ca, wordt het evenwicht tussen sediment en grondwater verstoord, waardoor kationuitwisseling zal optreden. Ca wordt door het sediment opgenomen uit het water in ruil voor de zeezouten die worden afgegeven aan het water. In de eerste fase van de kationuitwisseling wordt voornamelijk Na uitgewisseld voor Ca ; het is immers het kation dat het zwakst aan het kleioppervlak is geadsorbeerd. Nadat Na voor het grootste deel is uitgewassen zal K worden ingeruild, in een laatste fase is het de beurt aan Mg. Aldus ontstaat grondwater dat een tekort vertoont aan Ca en een overschot aan Na , K en Mg.

De uitwisseling van kationen blijft doorgaan tot zich een nieuw evenwicht tussen grondwater en sediment heeft ingesteld. Dit evenwicht kan bereikt zijn vooraleer alle zeezouten zijn uitgewassen ; een uitwisseling van zowel Na , K als Mg is bijgevolg geen noodzaak.

Een verdringing van zoet grondwater door infiltrerend zout water veroorzaakt het omgekeerde effect. Het sediment zal Ca afstaan aan het water in ruil voor Na , K en Mg. Aldus ontstaat grondwater met een tekort aan Na , K en Mg en een overschot aan Ca.

De reactievergelijkingen die de kationuitwisseling weergeven, kunnen als volgt worden voorgesteld (VAN DER MOLEN, 1957 ; STUYFZAND , 1985) :



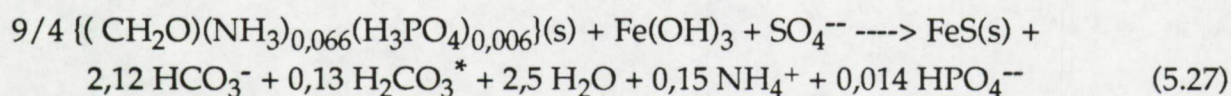
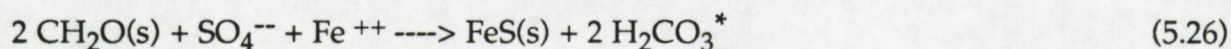
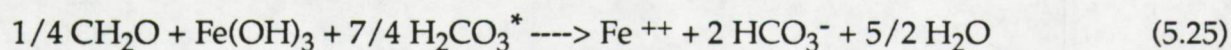
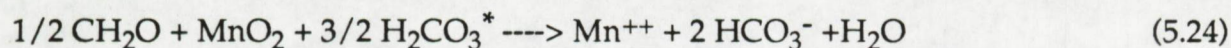


De eerste reactievergelijking geldt alleen indien voor en na de uitwisseling het evenwicht met CaCO_3 gehandhaafd is en er voldoende H_2CO_3^* gelijktijdig wordt gevormd of verbruikt. Is dit niet het geval, dan geldt de tweede vergelijking.

5.4.3.2. Sulfaatreduktie

In de verzadigde zone kunnen, door oxydatie van in het pakket ingesloten organische stof, sterk reducerende omstandigheden ontstaan. De oxydatie van de organische verbindingen kan gebeuren door diverse oxydantia, vooral door MnO_2 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en SO_4 . Nadat de oxydantia zijn opgebruikt zal de organische stof tenslotte fermenteren. Enkele redoxreacties zijn gegeven in tabel 5.4 (STUYFZAND, 1985).

Tabel 5.4. Belangrijke redoxreacties met achtereenvolgens reductie van MnO_2 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en SO_4 en tenslotte methaanvorming bij vergisting.



Hierbij is de sulfaatreduktie het belangrijkste proces. De algemene reactievergelijking voor dit proces is gegeven door (5.26) ; de samenstelling van het organisch materiaal is niet verder gedefinieerd. Reactie (5.27) is de samenvoeging van reacties (5.25) en (5.26) en geeft de samenstelling van organisch materiaal in de duinen te Egmont aan Zee (STUYFZAND, 1985). Een afwijking van de veel geciteerde, algemene samenstelling $(\text{CH}_2\text{O})_{106} (\text{NH}_3)_{16} (\text{H}_3\text{PO}_4)$ met een C : N : P-verhouding van 106 : 16 : 1 is dus mogelijk ; deze gemiddelde samenstelling is immers slechts geldig voor levend marien zoö- en phytoplankton (BADER, 1955 ; RICHARDS, 1965 ; SHOLKOVITZ, 1973 ; LERMAN, 1979).

Uit de reactievergelijking blijkt dat de afbraak van organisch materiaal, naast een sterke vermindering van het sulfaatgehalte, tevens aanleiding geeft tot de vorming van HCO_3 , NH_4 en PO_4 .

5.5. Grondwaterkwaliteit in de zandige kreekgebieden

5.5.1. Verspreiding van zoet en zout grondwater, afgeleid uit boorgatmetingen

5.5.1.1. Teoretische achtergrond

5.5.1.1.1. Algemeen

Met de uitvoering van geo-elektrische boorgatmetingen wordt getracht grensvlakken, te wijten aan wijzigingen in litologie of grondwaterkwaliteit, op te sporen, steunend op het verschil in resistiviteit van de sedimenten. De grootte van de resistiviteit wordt gedefinieerd als de weerstand tussen twee evenwijdige vlakken van een kubus van een bepaald materiaal met ribbe gelijk aan één meter :

$$\rho = R \cdot \frac{S}{L} \quad (5.29)$$

met ρ = de resistiviteit van de geleider (ohm-meter)
 R = de weerstand van de geleider (ohm)
 S = de oppervlakte van de geleider (m^2)
 L = de lengte van de geleider (m)

5.5.1.1.2. Resistiviteit van het gesteente (formatieresistiviteit)

Tot de elektrische geleidbaarheid van het gesteente dragen enerzijds de metallieke of elektronengeleiding en anderzijds de elektrolytische of ionengeleiding bij. Eerstgenoemde is te wijten aan de aanwezigheid van geleidende mineralen in het gesteente, laatstgenoemde aan de in het poriënwater opgeloste zouten. De resistiviteit van een gesteente of formatieresistiviteit hangt dan ook af van de aard van de gesteentematrix en van de concentratie aan opgeloste zouten in het poriënwater. De formatieresistiviteit wordt gegeven door:

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{1}{\rho_f} + \frac{1}{\rho_c} = \frac{1}{\rho_f} + \frac{1}{F \cdot \rho_w} \quad (5.30)$$

met ρ_t = de resistiviteit van het gesteente of formatieresistiviteit
 ρ_f = de resistiviteit van de geleidende gesteentematrix
 ρ_c = de resistiviteit van het poriënwater in het gesteente
 ρ_w = de resistiviteit van het poriënwater zelf
 F = de formatiefactor.

De resistiviteit van de gesteentematrix is in hoofdzaak deze van de meest geleidende mineralen. Is de concentratie van deze mineralen gering, dan komen ze geïsoleerd te liggen in een niet-geleidende matrix. In dit geval dragen ze niet meer bij tot het geleidingsvermogen van het gesteente, waardoor $\rho_t \approx \rho_c$.

Daar het sediment algemeen is verzadigd met poriënvloeistof ligt de formatieresistiviteit aanzienlijk lager dan deze van de afzonderlijke, weinig geleidende gesteentevormende mineralen zelf. In sedimentaire gesteenten is de concentratie aan opgeloste zouten in het poriënwater veelal dermate hoog dat de invloed van de vaste matrix op de resistiviteit te verwaarlozen is.

5.5.1.1.3. Resistiviteit van de poriënvloeistof

De resistiviteit van het poriënwater ρ_w wordt gegeven door :

$$\rho_w = \frac{1}{\sum (c_a l_a + c_k l_k)} \quad (5.31)$$

waarin c_a en c_k de concentraties zijn van de verschillende anionen en kationen in oplossing en l_a en l_k de anionische en kationische equivalente geleidbaarheden voorstellen.

De resistiviteit van een elektrolyt is een functie van de equivalente geleidbaarheden van de specifieke ionen in oplossing. In grondwater zijn de equivalente geleidbaarheden van de verschillende ionen evenwel nagenoeg gelijk, zodat de chemische samenstelling van het grondwater weinig invloed uitoefent op de resistiviteit ervan.

Bij lage concentraties nadert de resistiviteit van een elektrolytoplossing een asymptotische waarde en is omgekeerd evenredig met de concentratie C van het opgeloste zout : $\rho_w = A / C$. Hierbij hangt A af van het soort zout en van de concentratie.

5.5.1.1.4. Verband tussen de formatieresistiviteit en de resistiviteit van het poriënwater : de formatiefactor F

Het verband tussen formatie- en poriënwaterresistiviteit wordt, indien het sediment is samengesteld uit elektrisch inerte korrels en wanneer alle poriën met water zijn gevuld, gegeven door de wet van ARCHIE (1942) :

$$\rho_t = F \cdot \rho_w \quad (5.32)$$

De formatiefactor F in deze vergelijking blijkt voor dergelijke sedimenten onafhankelijk van de samenstelling van het poriënwater en beschrijft bijgevolg enkel de karakteristieken van het sediment en niet deze van het verzadigende water. De meeste zanden, d.w.z. deze die een relatief kleine kleifractie bezitten, kunnen als elektrisch inerte afzettingen worden beschouwd. De formatiefactor wordt in dat geval gegeven door :

$$F = T \cdot a^{-m} \quad (5.33)$$

waarin a de porositeit voorstelt ; T en m zijn kenmerken van het sediment en staan respectievelijk voor de tortuositeit van de stroomlijnen en de graad van verkitting.

Fijnkorrelige sedimenten (klei, leem, veen) vertonen veelal een grotere porositeit dan middelmatig tot grofkorrelige gesteenten (in hoofdzaak zand). De resulterende kleinere formatiefactor geeft, voor éénzelfde poriënwatersamenstelling, aanleiding tot een lagere formatieresistiviteit.

Het is evenwel aangetoond (o.a. DAKHNOV, 1962) dat ook voor éénzelfde porositeit fijnkorrelige afzettingen een andere formatieresistiviteit opleveren dan middelmatig tot grofkorrelige gesteenten. Indien het sediment is verzadigd met zoet water, wordt in fijnkorrelige afzettingen een lagere resistiviteit gemeten. Is het sediment daarentegen gevuld met zeer zout water, dan kan een hogere resistiviteit worden vastgesteld. Dit fenomeen wordt veroorzaakt door het niet elektrisch inert

zijn van de fijnkorrelige gesteenten, waardoor de wet van ARCHE niet langer geldig is. De formatiefactor is in dat geval immers wel, en zelfs in belangrijke mate, beïnvloed door de samenstelling van het poriënwater. Op dit feit wordt dieper ingegaan in paragraaf 5.6.4.1. .

5.5.1.2. Methode

5.5.1.2.1. Principe

Wordt in een homogeen isotroop milieu met resistiviteit ρ_t een stroom aangebracht d.m.v. twee puntelektroden A en B, dan kan de resistiviteit van dit milieu worden bepaald door meting van het potentiaalverschil tussen twee potentiaalelektroden M en N (fig. 5.1.). Dit potentiaalverschil wordt gegeven door :

$$V = V_M - V_N = \rho_t \cdot I \cdot \frac{[(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}) - (\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN})]}{4\pi} \quad (5.34)$$

Bij een normale opstelling worden een voedings- en een potentiaalelektrode (A en M), met een welbepaalde onderlinge afstand, in het boorgat neergelaten (fig. 5.2.). De andere voedings- en potentiaalelektrode (B en N) worden aan het oppervlak geplaatst op een zodanig grote afstand van het boorgat dat de reciproke waarden van de afstanden BM, AN en BN verwaarloosbaar klein worden t.o.v. de reciproke waarde van de afstand AM. Zodoende wordt de resistiviteit van de afzetting ter hoogte van de elektroden in het boorgat gegeven door :

$$\rho_t = 4 \pi AM \cdot \frac{V}{I} \quad (5.35)$$

5.5.1.2.2. Apparatuur

In het bestek van deze studie werd gebruik gemaakt van de normale opstelling, d.w.z. dat de afstand tussen de potentiaalelektroden M en N groot is in vergelijking met de afstand tussen de stroomelektrode A en de dichtsbijzijnde potentiaalelektrode M (afstand AM).

In plaats van puntelektroden bevatten de gebruikte sondes twee ringelektroden, teneinde de stroomlijnen zo goed mogelijk in het gesteente te laten dringen. Twee

elektrodenopstellingen worden toegepast, de lange normale (LN) en de korte normale opstelling (SN), respectievelijk gekenmerkt door een elektrodenafstand AM van 1,0 en 0,25 m. Eerstgenoemde opstelling levert resistiviteitswaarden die zeer dicht de werkelijke resistiviteit van het gesteente benaderen ; de korte normale opstelling daarentegen geeft zeer nauwkeurig de relatieve variatie van de resistiviteit weer, doch de absolute waarde van de resistiviteit heeft weinig betekenis.

De verhouding V/I wordt om de 0,25 m geregistreerd met een digitale aardmeter "Gossen-Geohm". Om polarisatieverschijnselen te vermijden wordt een wisselspanning aangelegd met een frequentie van 75 Hz tussen de elektroden A en B.

5.5.1.3. Toepassing in het grondwaterkwaliteitsonderzoek

Zoals reeds aangegeven wordt de resistiviteit van een sediment in hoofdzaak bepaald door de kwaliteit van het aanwezige poriënwater en slechts in verwaarloosbare mate door de geleidbaarheid van de sedimentkorrels zelf. Daar bovendien de formatiefaktor binnen veel engere grenzen varieert dan het zoutgehalte van het poriënwater leveren resistiviteitsmetingen, zeker in kustgebieden, eerder hydrochemische dan wel litologische informatie.

Het is dan ook duidelijk dat de resistiviteit van het gesteente de mogelijkheid biedt de grondwaterkwaliteit op een snelle en relatief betrouwbare wijze te schatten.

Er wordt gesteund op de formatieresistiviteit gemeten met de lange normale opstelling. Getracht wordt het totale gehalte aan opgeloste stoffen (TDS) van het poriënwater te begroten, waarbij wordt gesteund op twee verbanden. Het verband tussen de formatieresistiviteit ρ_t en de resistiviteit van het poriënwater ρ_w is voor zand, en dus voor de kreekgebieden, vastgelegd in de formule van ARCHIE :

$$\rho_t = F \cdot \rho_w \quad (5.32)$$

Het verband tussen het totale gehalte aan opgeloste stoffen TDS en de resistiviteit van het poriënwater ρ_w werd experimenteel vastgesteld (LEBBE & PEDE , 1986) en wordt gegeven door :

$$TDS = \frac{10.000}{\rho_w} \quad (5.36)$$

Dit verband geldt slechts wanneer de poriënwaterresistiviteit wordt uitgedrukt bij een temperatuur van 11 °C ; dit is benaderend de temperatuur van het grondwater.

De combinatie van de beide vergelijkingen geeft het vereiste verband tussen ρ_t en TDS :

$$\rho_t = F \cdot \frac{10.000}{TDS} \quad (5.37)$$

De afgeleide vergelijking veronderstelt een formatiefactor die niet beïnvloed wordt door de kwaliteit van het poriënwater. Ze is dus enkel geldig voor zandige afzettingen en niet voor formaties die in hoofdzaak zijn samengesteld uit fijnkorrelige sedimenten. Het vastleggen van het verband tussen ρ_t en ρ_w , en dus tussen ρ_t en TDS, voor dergelijke sedimenten gebeurt in paragraaf 5.6.4.1.

Het aanschouwelijk weergeven van de resultaten kan gebeuren door combinatie van verschillende boorgatmetingen tot een resistiviteitsdoorsnede waarop lijnen van gelijk zoetwaterpercentage worden aangegeven door het verbinden van gelijke resistiviteiten. De zoetwaterpercentages zijn representatief voor een welbepaalde mengingsgraad tussen zoet en zout water. De formatieresistiviteiten overeenstemmend met de gewenste zoetwaterpercentages worden afgeleid met behulp van de hierboven beschreven formules.

Hiervoor wordt voor een zoetwaterpercentage van 100% (0% zout water) een TDS-waarde van 375 mg/l aangenomen ; 0% zoet water (100% zout water) stemt overeen met een TDS van 28.700 mg/l (LEBBE & PEDE, 1986). De TDS-waarden geven respectievelijk het zoutgehalte van het ondiepe grondwater in de duinen van de Westkust (LEBBE, 1978) en het zoutgehalte van het zeewater nabij het strand van Blankenberge (DEVOS, 1984).

Uitgaande van deze uitersten worden dan de TDS-waarden van de tussenliggende percentages berekend met behulp van de formule :

$$100 \cdot TDS = [C_s \cdot (100 - P_{fi})] + (C_f \cdot P_{fi}) \quad (5.38)$$

met TDS = het totale gehalte aan opgeloste stoffen in mg/l
 C_s = TDS van 100% zout water (0% zoet water)
 C_f = TDS van 100% zoet water (0% zout water)
 P_{fi} = het gewenste zoetwaterpercentage.

De bekomen TDS-waarden worden omgezet in poriënwaterresistiviteit ρ_w en tenslotte, na vermenigvuldiging met de formatiefactor van het sediment, tot formatieresistiviteit.

Aanduiding van deze resistiviteiten op de boorstaten laat toe lijnen van gelijke resistiviteit te tekenen, overeenstemmend met lijnen van gelijk zoetwaterpercentage. Aldus worden doorsneden bekomen welke een beeld geven van de zoet/zout water verdeling in een vertikaal vlak.

5.5.1.4. Metingen

In nagenoeg alle diepe, gespoelde boringen werden resistiviteitsmetingen met de lange en de korte normale opstelling verricht. Voor de zandige kreekgebieden zijn 42 boorgatmetingen beschikbaar, waarvan 22 in de IJzercreek en 20 in de Avekapellekreek.

5.5.1.5. Bepaling van het zoetwaterpercentage van het grondwater steunend op de gemeten resistiviteiten

5.5.1.5.1. Afleiding van de gemiddelde formatiefactor

De vertaling van de resistiviteitsmetingen in het boorgat naar de kwaliteit van het grondwater vereist de kennis van de formatiefactor van het sediment waarin het grondwater zich bevindt. Deze factor verschilt, zeker in kwartaire afzettingen, van plaats tot plaats wegens de soms sterk wisselende granulometrie van de sedimenten, zelfs binnen éénzelfde laag. Voor de bepaling van het zoutgehalte van het grondwater uit boorgatmetingen wordt dan ook meestal gesteund op de gemiddelde formatiefactor voor het bestudeerde hydrogeologische gebied of specifieke formatie.

De formatiefactor kan worden afgeleid uit de vergelijking van de formatieresistiviteit en de poriënwaterresistiviteit, gemeten op eenzelfde diepte. Vooral in doorlatende afzettingen is dit een vrij eenvoudige methode daar de bepaling van

laatstgenoemde grootheid kan gebeuren op waterstalen, opgepompt uit peilbuizen. In het bestek van deze studie werd de poriënwaterresistiviteit gemeten met behulp van een speciale resistiviteitscel van TNO, en een "Gossen-Geohm"- aardmeter. De overeenkomstige formatieresistiviteit is deze waargenomen op de diepte waarop zich het filterelement van de peilbuis bevindt. Aangezien de formatieresistiviteit iedere 0,25 m wordt afgelezen, zijn voor iedere peilbuis met een filterlengte van 1 m vijf formatieresistiviteiten beschikbaar. De formatieresistiviteit overeenstemmend met de poriënwaterresistiviteit bepaald op het opgepompte water is dan het gemiddelde van de vijf waarden.

Een nauwkeurige afleiding van de formatiefactor kan slechts geschieden wanneer de grondwaterkwaliteit in de buurt van de peilbuis weinig verandert. Indien dit niet het geval is wordt gemengd water opgepompt. Hierdoor bepaalt men een waarde voor de formatieresistiviteit die afwijkt van de werkelijke en die het gemiddelde is van vijf sterk uiteenlopende waarden. In de kreek sedimenten bevinden een aantal peilbuizen zich in de overgangszone tussen zoet en zout water ; de filterelementen ervan zijn bijgevolg zeker niet omringd door water van éénzelfde kwaliteit. Deze peilbuizen dienden dan ook buiten beschouwing te worden gelaten.

Het onderscheid tussen aanvaardbare en niet aanvaardbare peilbuizen gebeurde op grond van een statistisch gegeven : de variantiecoëfficiënt s/x van de vijf formatieresistiviteiten ter hoogte van het filterelement. Een grenswaarde van 0,1 bleek goed de filterelementen met een konstante waterkwaliteit af te zonderen ; de aanvaardbare peilbuizen vertonen een waarde kleiner dan 0,1.

In het totaal konden 66 waarden voor de formatiefactor worden afgeleid ; op basis van het hogergenoemde criterium werden er 44 weerhouden. Ze zijn weergegeven in tabel 5.5. .

Het algemene gemiddelde van deze waarden bedraagt 3,81. De afzonderlijke formatiefactoren wijzen evenwel op een verschil voor de zandige sedimenten in de IJzercreek enerzijds en deze in de Avekapellekreek anderzijds. Er werd dan ook aan beide kreek een eigen gemiddelde formatiefactor toegekend, respectievelijk 3,2 en 4,2. De verschillende granulometrie van het zand in de beide kreekgebieden komt dus ook in de formatiefactor tot uiting.

Tabel 5.5. Formatiefactoren afgeleid voor de zandige sedimenten in de IJzercreek en de Avekapellekreek.

Avekapellekreek :

Peilbuis		ρ_t (ohmm)	ρ_w (ohmm)	F
SB26	F1	2,08	0,42	4,95
	F2	44,06	10,32	4,27
SB27	F2	31,20	12,69	2,46
SB28	F1	2,89	0,39	7,41
	F2	39,82	11,63	3,42
SB29	F2	33,18	10,92	3,04
SB30	F2	60,61	16,19	3,74
SB31	F1	7,06	1,83	3,86
	F2	26,25	10,29	2,55
SB32	F2	38,03	10,44	3,64
SB33	F1	3,62	0,70	5,17
	F2	58,48	13,89	4,21
SB34	F2	37,00	10,50	3,52
SB35	F2	29,29	9,65	3,04
SB36	F	39,76	11,13	3,57
SB38	F1	1,76	0,35	5,03
	F2	28,74	7,22	3,98
SB39	F1	1,48	0,29	5,10
	F2	40,39	10,37	3,89
SB40	F1	2,94	0,44	6,68
	F2	48,91	14,29	3,43
SB41	F2	35,87	11,14	3,22
SB42	F1	1,13	0,31	3,65
SB43	F1	2,11	0,34	6,21
	F2	10,40	3,29	3,16
SB49	F1	2,34	0,37	6,32
	F2	36,00	11,75	3,06

De gemiddelde formatiefactor voor de sedimenten in de Avekapellekreek bedraagt 4,17.

Tabel 5.5. Vervolg.

IJzerkreek:

Peilbuis		ρ_t (ohmm)	ρ_w (ohmm)	F
SB1	F2	39,56	11,08	3,57
SB2	F2	23,36	9,62	2,43
SB3	F	3,01	0,82	3,67
SB5	F1	2,76	0,69	4,00
	F2	29,64	9,07	3,27
SB6	F2	32,91	10,32	3,19
SB8	F1	2,14	0,48	4,46
	F2	21,23	7,27	2,92
SB10	F2	30,40	13,63	2,23
SB12	F2	16,20	5,09	3,18
SB18	F	32,66	12,87	2,54
SB22	F2	33,41	13,42	2,49
SB47	F	27,53	9,35	2,94
HSB39	F	16,45	6,46	2,55
HSB40	F	27,76	7,72	3,60
HSB41	F	31,07	8,21	3,78
HSB42	F	29,29	7,24	4,05

De gemiddelde formatiefaktor voor de sedimenten in de IJzerkreek bedraagt 3,23.

Het gemiddelde van alle afgeleide formatiefactoren bedraagt 3,81.

5.5.1.5.2. Afleiding van de zoetwaterpercentages

Met behulp van de gemiddelde formatiefaktor en de in paragraaf. 5.5.1.3. gegeven vergelijkingen kan worden bepaald met welke formatieresistiviteiten de in het bestek van deze studie gekozen zoetwaterpercentages overeenstemmen. De gekozen zoetwaterpercentages en de korresponderende TDS-waarden, poriënwaterresistiviteiten en formatieresistiviteiten zijn voor de IJzerkreek en de Avekapellekreek gegeven in tabel 5.6. . De formatieresistiviteiten in de tabel zijn deze die moeten worden aangeduid op de resistiviteitsdoorsneden ; hiermee verkrijgt men de lijnen van gelijk zoetwaterpercentage waarmee de verschillende grondwaterkwaliteiten worden afgebakend.

Tabel 5.6. Zoetwaterpercentages, TDS-waarden, poriënwaterresistiviteiten en formatieresistiviteiten van de zandige kreeksedimenten

Zoetwater- percentage	TDS (mg/l)	ρ_w (bij 11 °C) (Ω m)	ρ_t (Ω m) IJzerkreek	ρ_t (Ω m) Avekapellekreek
100	375	26,67	85,33	112,00
99	658	15,20	48,63	63,85
95	1.791	5,58	17,86	23,45
84	4.907	2,04	6,53	8,56
50	14.538	0,69	2,21	2,89
1	28.417	0,35	1,13	1,48
0	28.700	0,35	1,11	1,46

Steunend op de klassificatie van DE MOOR & DE BREUCK (1969) kan een benaming voor de verschillende grondwaterklassen worden ingevoerd :

- zoetwaterpercentage groter dan 95% : zoet water ;
- zoetwaterpercentage tussen 95 en 84% : matig brak water;
- zoetwaterpercentage tussen 84 en 50% : brak tot zeer brak water;
- zoetwaterpercentage kleiner dan 50% : zout water.

Uit de geringe variatie van de formatieresistiviteit voor kleine zoetwaterpercentages kan worden afgeleid dat lijnen met een hoog zoetwaterpercentage nauwkeuriger kunnen worden gedefinieerd dan lijnen met een laag percentage (LEBBE, 1983). Dit is toe te schrijven aan het feit dat bij toevoeging van een kleine hoeveelheid zout in zoet water de resistiviteit sterk gewijzigd wordt. In het omgekeerde geval, wanneer een weinig zoet water aan zout water wordt toegevoegd, ondergaat de resistiviteit nagenoeg geen wijziging.

5.5.1.6. De zoet-zout water verdeling in de zandige kreekgebieden

5.5.1.6.1. Algemeen

Vijf doorsneden met lijnen van gelijk zoetwaterpercentage konden aan de hand van de in de kreekgebieden uitgevoerde geo-elektrische boorgatmetingen worden opgesteld : drie doorheen de Avekapellekreek en twee doorheen de IJzerkreek. Het verloop ervan is weergegeven op figuur 5.3. ; de doorsneden zelf zijn voorgesteld op de platen 5.1. tot 5.5. .

Wegens de geringe variatie van de formatieresistiviteit voor de lage zoetwaterpercentages was het weinig zinvol deze alle op de doorsneden aan te duiden. Ze leveren immers slechts weinig bijkomende informatie over de verspreiding van zoet en zout water. Bijgevolg worden enkel de percentages 99, 95, 84, 50 en 1% op de doorsneden weergegeven.

Ter verduidelijking zijn enkele gegevens bekomen uit de analyse van de grondwaterstalen (par. 5.5.2.) op de doorsneden voorgesteld. Het betreft de relatieve ionenverdeling, in de vorm van een blokdiagram, de absolute concentraties van de voornaamste ionen, en het totale zoutgehalte TDS van het grondwater. De peilbuizen waaruit de grondwaterstalen afkomstig zijn, zijn op de doorsneden aangegeven.

De doorsneden hebben niet enkel betrekking op de zandige kreekgebieden, doch omvatten eveneens de overgangszone tussen deze gebieden en de omliggende poelgebieden. Hoewel deze laatste, in de onmiddellijke omgeving van de kreekgebieden vaak zandig zijn, werden ook fijnkorrelige sedimenten doorboord. Zoals vermeld in paragraaf 5.5.1.1. dient voor deze sedimenten een ander verband tussen zoetwaterpercentage en formatieresistiviteit te worden toegepast. Dit verband wordt uiteengezet in paragraaf 5.6.4.1. ; het volstaat hier te vermelden dat het

verloop van de lijnen van gelijk zoetwaterpercentage tegenover de fijnkorrelige lagen in overeenstemming met dit nieuwe verband werden aangepast.

5.5.1.6.2. De zoet-zout water verdeling in de Avekapellekreek

De Avekapellekreek is gekenmerkt door de aanwezigheid van grondwater met een sterk uiteenlopend zoutgehalte ; alle zoetwaterpercentages, van meer dan 99 tot minder dan 1%, worden er aangetroffen.

Dat de hoger gelegen kreekgebieden gekenmerkt zijn door de infiltratie van neerslagwater blijkt duidelijk in de Avekapellekreek. Een zoetwaterlens (zoetwaterpercentage > 95%), met een gemiddelde dikte van 12 m, heeft zich gevormd ; de dikte loopt plaatselijk zelfs op tot meer dan 16 m. Onder het zoete water is een overgangszone van brak water aanwezig. De diepte waarop dit brakke water voorkomt is net als de dikte ervan sterk wisselend. Het brakke water kan reiken tot op het ondoorlatend tertiair substraat of kan overgaan in zout water (zoetwaterpercentage < 50%) met een samenstelling gelijkend op deze van zeewater.

In tegenstelling tot de Avekapellekreek zijn de omliggende laaggelegen poelgebieden gekenmerkt door het voorkomen van brak of zout grondwater nabij de watertafel. De infiltratie van zoet water heeft er slechts in beperkte mate plaatsgevonden.

In het gebied tussen Avekapelle en Pervijze (plaat 5.1.) is aan de basis van het kwartaire grondwaterreservoir nagenoeg overal zout water aanwezig, met een gehalte aan opgeloste stoffen hoger dan 20.000 mg/l. Het zoute water bevindt zich in de omgeving van Avekapelle nagenoeg steeds beneden het peil -10 ; slechts ter hoogte van de afwateringskanalen kan, wegens de hoofdzakelijk opwaartse grondwaterstroming eronder en de minder diepe stromingscycli in de omgeving ervan, zout water op geringere diepte voorkomen. Dit is bijvoorbeeld het geval ter hoogte van boring SB39 nabij de Kromme Gracht. Naar Pervijze toe reikt het zoute water tot boven het peil -5 ten oosten van de Oude Aa-Vaart.

De door infiltrerend neerslagwater gevormde zoetwaterlens is in de omgeving van Avekapelle vrij continu en 14 tot 16 m dik. Oostwaarts, in de richting van Pervijze, bedraagt de dikte van de zoete waterlaag nog slechts 7 m - om nagenoeg volledig te verdwijnen aan de Oude Aa-Vaart. De infiltratie van neerslagwater is in dit

oostelijke deel van de Avekapellekreek bijgevolg veel minder intens, een vaststelling die reeds tot uiting kwam in de stijghoogtemetingen (par. 4.6.). Voor het grootste deel van het jaar stroomt ten oosten van de Aa-Vaart het grondwater vanuit de poelgebieden naar dit gebied toe.

De tussenliggende overgangszone van brak water wisselt sterk in dikte, met meestal variaties tussen 3 en 7 m. Wegens de belangrijke verzoeting in de omgeving van Avekapelle is het brakke water er aanwezig vanaf het peil - 8. Ten oosten van de Aa-vaart wordt het brakke water echter op het peil +1 aangetroffen. Meestal vertonen zowel het matig brakke als het brakke tot sterk brakke water dezelfde dikte.

Plaat 5.2. geeft de verdeling van zoet en zout water in de omgeving van Avekapelle volgens een dwarsdoorsnede, welke tevens een deel van het omliggende poelgebied omvat. De doorsnede vertoont de reeds eerder vermelde kenmerken.

De zoetwaterlens is over nagenoeg de ganse breedte van de Avekapellekreek even sterk ontwikkeld, getuige het zeer vlakke verloop van het grensvlak tussen zoet en brak water tussen de boringen SB28, SB26 en SB49. In noordelijke richting, ter hoogte van de boringen SB29 en SB35 is de zoetwaterlens minder omvangrijk en bereikt er nog slechts een dikte van 6 m. Dit is evenwel niet het gevolg van een minder intense neerslaginfiltratie, doch eerder wegens de aanwezigheid van kleiige sedimenten vanaf 10 m diepte. Het uitwassen van het konnate zeewater gebeurt in dergelijke sedimenten zeer langzaam.

Voorbij de Kromme Gracht is het omliggende poelgebied aangeboord. Zoet water is er slechts aanwezig in een ca. 0,5 m dikke zone nabij de watertafel. Zout water wordt reeds aangetroffen op een diepte van 3 m. De overgang tussen kreek en poelgebied gebeurt in noordelijke richting bijgevolg zeer bruusk.

In zuidelijke richting wordt het poelgebied over een grotere lengte aangesneden. In tegenstelling met het poelgebied ten noorden van de Avekapellekreek wordt er geen zout water aangetroffen. Zoet tot matig brak water strekt zich daarentegen uit tot aan het Zoutenaaleed ; slechts ten zuiden van dit afwateringskanaal komt zout water opnieuw voor op geringe diepte. Het voorkomen van zoet water in het poelgebied ten zuiden van de Avekapellekreek is het gevolg van de grondwaterstroming vanuit de kreek naar het Zoutenaaleed. Ondergronds afvloeiend zoet water zorgt er voor de uitspoeling van het konnate zeewater. Door het gedeeltelijk zandige

karakter van het poelgebied op die plaats wordt deze uitspoeling nog vergemakkelijkt (zie ook par. 6.4.4.2.3.).

De bruuske overgang tussen zoet en zout water ter hoogte van de grens tussen kreek en poelgebied in noordelijke richting kan worden verklaard door de aanwezigheid van de Kromme Gracht. Het zoete water dat ondergronds afvloeit uit de Avekapellekreek wordt immers onmiddellijk door dit afwateringskanaal opgevangen. Waarschijnlijk kan meer oostwaarts, waar de Kromme Gracht niet langer een hydrologische barrière vormt tussen de Avekapellekreek en het noordelijke poelgebied, wel een overgangszone met vrij zoet water worden aangetroffen.

In het gebied ten zuiden van de Kromme Gracht (plaat 5.3.) wordt er geen zout grondwater in de kreek aangetroffen ; de grens van het voorkomen van zout grondwater is waarschijnlijk gelegen nabij de Kromme Gracht. In het beschouwde gebied ligt het ondoorlatende substraat ca. 5 m hoger dan te Avekapelle, waardoor de verzoeting steeds reikt tot op dit substraat. Het totale zoutgehalte van het grondwater nabij het ondoorlatend substraat is dan ook beduidend lager dan in het gebied tussen Avekapelle en Pervijze en varieert meestal tussen 1.000 en 5.000 mg/l. Plaatselijk kan het totale zoutgehalte evenwel nog oplopen tot 13.000 mg/l.

De dikte van de zoetwaterlens varieert algemeen tussen 9 en 13 m. Naar het zuiden toe, waar de dikte van de kreek sedimenten afneemt (boring SB36), wordt ook de zoetwaterlens dunner.

5.5.1.6.3. De zoet-zout water verdeling in de IJzerekreek

De verspreiding van zoet en zout grondwater in de IJzerekreek tussen Beveren en Nieuwkapelle is voorgesteld in een lengtedoorsnede op plaat 5.4. . In tegenstelling met de Avekapellekreek is zout water in de IJzerekreek slechts zeer sporadisch aangetroffen. Zelfs in de weinig doorlatende sedimenten, die nagenoeg overal onder de zandige kreekopvulling voorkomen, kan geen zout grondwater worden aangetoond.

Op slechts één plaats komt zout water voor : de boring SB8 nabij Driekapelle. Het zoute water is hier aanwezig in een diepe uitschuring, waar de zandige sedimenten een dikte van 20 m bereiken. Elders, en zeker in de richting van de Frans-Belgische

grens, ligt het ondoorlatende substraat waarschijnlijk te ondiep opdat konnaat zeewater zou bewaard gebleven zijn.

De zoetwaterlens in de IJzerkreek is weinig omvangrijk in het gebied stroomopwaarts Pollinkhove (boring SB24 tot SB20) ; de zoetwaterlaag bereikt er slechts een dikte van 3 tot 5 m. De diepere uitspoeling van het konnate zeewater in de weinig doorlatende sedimenten, die vanaf een diepte van 6 m onder de zandige kreekopvulling voorkomen, geschiedt slechts langzaam. Stroomafwaarts Pollinkhove worden de zandige afzettingen dikker wat wordt weerspiegeld in de toenemende dikte van de zoetwaterlaag. Te Driekapelle kan de dikte van de zoetwaterlens reeds oplopen tot 14 m.

De brakwaterzone kent in de IJzerkreek een belangrijke uitbreiding, met diktevariaties tussen 8 en 15 m. In deze overgangszone vertoont het matig brakke water een vrij konstante dikte van 2 tot 3 m. Het brakke water is vooral aanwezig in de weinig doorlatende sedimenten onder de zandige kreekopvulling ; nagenoeg steeds rust brak tot zeer brak water op het ondoorlatend kleisubstraat. Op plaatsen waar het ondoorlatende substraat abnormaal hoog ligt, zoals ter hoogte van de boringen SB18 en SB21, vertoont de brakwaterzone slechts een geringe dikte. Dit is ook het geval ter hoogte van de boring SB10 ; op deze plaats is dit evenwel eerder het gevolg van een intense infiltratie van neerslagwater met als gevolg een sterke uitspoeling van het konnate zeewater op die plaats. Ter hoogte van de drie boringen ontbreekt het brakke tot sterk brakke water zodat het matig brakke water rechtstreeks rust op het tertiair substraat.

Een doorsnede te Nieuwkapelle (plaat 5.4.) illustreert de verspreiding van de verschillende kwaliteiten volgens de dwarsrichting en geeft de overgang naar de omliggende poelgebieden. De zoetwaterlens in de IJzerkreek blijkt, zoals deze in de Avekapellekreek, een min of meer gelijke dikte te bereiken over de ganse breedte van de kreek. Nabij de randen kan dan een steile oprijzing van brak water worden vastgesteld. In noordelijke richting (boringen SB1 en HSB40) is de uitbreiding van de zoetwaterlens enigszins beperkt door het voorkomen van weinig doorlatende sedimenten onder de zandige kreekopvulling.

Het poldergebied ten noorden van de kreek (boring HSB39) is in hoofdzaak verzadigd met brak tot zeer brak water. Nabij het ondoorlatend kleisubstraat wordt een ca. 0,5 m dikke zoutwaterlaag aangetroffen. In zuidelijke richting (boring HSB44)

komt in het poelgebied enkel matig brak water voor. Het relatief zoete karakter van dit water moet worden verklaard door een ondergrondse afvloeï van zoet water uit de IJzercreek in die richting, wat aanleiding geeft tot de verzoeting van het poelgebied nabij de kreek.

5.5.2. Chemische samenstelling van het grondwater, afgeleid uit de analyse van waterstalen

5.5.2.1. Algemeen

De geo-elektrische boorgatmetingen laten toe het zoutgehalte van het grondwater bij benadering te begroten en aldus het voorkomen van zoet, brak en zout water in de ondergrond te definiëren.

De kennis van de chemische samenstelling van het grondwater is echter onontbeerlijk om de verspreiding, de oorsprong en de evolutie van de grondwaterkwaliteit te kunnen verklaren.

5.5.2.2. Monsternamen van de onderzochte grondwaters

Uit de peilbuizen in de doorlatende sedimenten van de kreekgebieden werden grondwaterstalen onttrokken met behulp van een peristaltische pomp, type DELASCO. Een dergelijke pomp kan water opzuigen tot op een diepte van ca. 6 m onder het maaiveld en dit met een maximaal debiet van 1 m³/h. Een aantal peilbuizen, en vooral deze die onmiddellijk onder de watertafel zijn aangebracht, leverden evenwel een duidelijk kleiner debiet.

Bij de monsternamen dienen speciale voorzorgen te worden genomen. Dat het opgepompte grondwater bij contact met de lucht wijzigingen ondergaat is meermaals aangetoond (HEM, 1970 ; STUYFZAND, 1983 ; HARMSSEN & VAN DRUMPT, 1983). De beïnvloede parameters zijn ondermeer de redoxpotentiaal (Eh), de opgeloste zuurstof, de zuurtegraad (pH), het gehalte aan Fe⁺⁺, PO₄³⁺ en SiO₂ en de zware metalen. Daarnaast kan CO₂ - uitwisseling met de lucht aanleiding geven tot een verschuiving in de zuurtegraad en het HCO₃⁻ en CO₃⁻⁻ -gehalte. Als gevolg van deze wijzigingen wordt ook de geleidbaarheid beïnvloed.

De redoxpotential (Eh), de opgeloste zuurstof, de zuurtegraad en de geleidbaarheid werden in het bestek van deze studie gemeten op het terrein, zonder beluchting. Hiervoor werd een speciale uitrusting aangewend (WALRAEVENS, 1987). In deze opstelling zijn vier meetelektroden aangebracht in een goed afgesloten monstervat, waarop een aanvoer- en een afvoerleiding voor het opgepompte water aangesloten zijn. In deze opstelling komt het circulerende water niet in aanraking met de lucht, tenzij het debiet van het opgepompte water onvoldoende is. In deze gevallen heeft het weinig zin deze methode toe te passen.

Alvorens een grondwaterstaal werd genomen werd het water gedurende minstens 1 uur opgepompt. Het tijdens de booroperatie gekontamineerde grondwater dient immers te worden verwijderd. Indien de monsternamen zonder beluchting werd uitgevoerd gebeurde dat nadat de redoxpotential en de geleidbaarheid een konstante waarde hadden bereikt. Pas dan kan worden gesteld dat het opgepompte water representatief is voor de bemonsterde diepte. Rekening houdend met de tijd voor het schoonpompen van de peilbuizen was dit het geval na 2 tot 2,5 uur pompen.

De peilbuizen, die geen konstant debiet opleverden, werden zonder de speciale opstelling bemonsterd. Hierbij gebeurde de staalname nadat de resistiviteit, gemeten met behulp van een resistiviteitscel, ontwikkeld door TNO, en een "Gossen-Geohm"-aardmeter, konstant bleef. De resistiviteit werd op deze wijze trouwens voor alle grondwaterstalen opgemeten.

5.5.2.3. Analyse van de watermonsters

Zowel de bewaring van de waterstalen als de analyse ervan gebeurde volgens de STANDARD METHODS (1975).

De resistiviteit en de temperatuur van het grondwater werden steeds op het terrein bepaald. Bij de bemonstering zonder beluchting was dit ook het geval voor de redoxpotential, de opgeloste zuurstof, de zuurtegraad en de geleidbaarheid.

De bepaling van de fenolftaleïne-alkaliteit (TA) en de methyl-oranje-alkaliteit (TAC) werd uitgevoerd door titratie met HCl, 1 normaal, respectievelijk ten overstaan van fenolftaleïne en van een mengindicator (methylrood en bromo-chresolgroen in isopropanol). Eerstgenoemde alkaliteit heeft betrekking op het CO_3 -gehalte, laatstgenoemde op het totaal aan CO_3 en HCO_3 .

De alkaliteitstitraties gebeurden meestal op het terrein ; slechts wanneer de weersomstandigheden dit niet toelieten (temperatuur beneden het vriespunt) werden de titraties in het laboratorium uitgevoerd.

De overige bepalingen gebeurden in het laboratorium.

De bepaling van Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Fe^{tot} en Mn^{++} geschiedde door atomaire absorptiespectrometrie (AAS). De totale hardheid (TH) werd gemeten door titratie met EDTA. Ca^{++} werd op analoge manier bepaald nadat eerst Mg^{++} neergeslagen was door middel van NaOH. De blijvende hardheid werd bepaald op dezelfde manier als de TH, na 90 minuten koken, waardoor HCO_3^- en CO_3^{--} uit het water verwijderd werden. De tijdelijke hardheid is het verschil tussen totale en blijvende hardheid.

De bepaling van Cl^- gebeurde met behulp van een Cottle-Buchler-chloridometer, door het vormen van een AgCl-neerslag. Het SO_4^{--} -gehalte werd gravimetrisch gemeten door neerslag van BaSO_4 .

De dosering van NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- en PO_4^{3-} werd uitgevoerd door colorimetrie, evenals de bepaling van opgelost SiO_2 . Sulfiden werden colorimetrisch bepaald als S^{--} . Agressief CO_2 werd bepaald door titratie met HCl ten opzichte van een mengindicator, op een waterstaal waaraan op het terrein CaCO_3 was toegevoegd.

De hoeveelheid bezinkbare stoffen in het water werd afgelezen na bezinking in Immhofkegels. Zwevende stoffen in het water werden gemeten door wegen van het residu op een glasfilter. De verdampings- en de verassingsresten werden afgewogen na verhitten van het filtraat respektievelijk tot 105 en 600 ° C. Organische stoffen koud en warm werden respektievelijk bij kamertemperatuur en na koken bepaald door oxydatie met KMnO_4 .

5.5.2.4. Het gegevensbestand

In het totaal kan worden beschikt over 87 grondwaterstalen uit de kreekgebieden; 35 hiervan zijn afkomstig uit de IJzercreek, de overige 52 uit de Avekapellekreek. De analyseresultaten zijn gegeven onder de vorm van analyseverslagen in bijlage 5.

De meeste waterstalen zijn afkomstig uit de zoete topzone van de kreekgebieden, nabij de watertafel, of uit de basiszone van deze gebieden, juist boven de

onderliggende weinig doorlatende of ondoorlatende sedimenten. Voor deze zones zijn dan ook de meeste gegevens beschikbaar.

De grondwaterkwaliteit in de overgangszone tussen zoet en zout grondwater diende te worden afgeleid uit een beperkter aantal gegevens. Op een aantal plaatsen, waaronder die van de pompproeven, werden peilbuizen op diverse diepten aangebracht. Bovendien is de dikte van de kreeksedimenten sterk wisselend, zodat de waterstalen ontnomen aan de basis ervan, zeker in de IJzercreek, afkomstig zijn van uiteenlopende diepte-intervallen en dus sterk verschillende kwaliteiten vertegenwoordigen.

5.5.2.5. Verwerking van de analyseresultaten

5.5.2.5.1. Klassifikatie van de grondwaterstalen volgens STUYFZAND

5.5.2.5.1.1. Algemeen

In dit onderzoek werd de grondwaterklassifikatie volgens STUYFZAND (1986) angewend. Deze klassifikatie is vooral geschikt voor grondwaters die gekenmerkt zijn door kationuitwisseling als gevolg van opeenvolgende kontinentale en mariene omstandigheden. Het klassifikatiesysteem past bijgevolg uitstekend in het bestek van het uitgevoerde onderzoek.

5.5.2.5.1.2. Klassifikatiesysteem

Een watertype in het klassifikatiesysteem van STUYFZAND wordt vastgesteld door achtereenvolgens het hoofdtype, de hardheidscode, het type en de kationuitwisselingscode te definiëren. Elke onderverdeling draagt bij tot de code voor het watertype zoals aangegeven in fig. 5.4. . Met 6 hoofdtypes, 11 hardheidscodes, 27 types en 3 kationuitwisselingscodes zijn theoretisch 5346 watertypes te onderscheiden. In de natuur is dit aantal evenwel zeer sterk beperkt.

5.5.2.5.1.2.1. Hoofdtype

Het hoofdtype wordt gedefinieerd op basis van het chloridegehalte van het grondwater zoals aangegeven in tabel 5.7 . De grens tussen zoet en zoet-brak water is de Cl-norm voor drinkwater in Nederland. De ondergrens van zout water stemt overeen met een 1/1 menging van zoet water en zeewater ver van de kust ; de hoogste grenswaarde is ongeveer die van de Cl-koncentratie in normaal zeewater (RILEY & SKIRROW, 1965).

Tabel 5.7. Hoofdtypes in de klassificatie van STUYFZAND

HOOFDTYPE	CODE	Cl-GEHALTE (mg/l)
zoet	F	<150
zoet-brak	Fb	150 - 300
brak	B	300 - 1.000
brak-zout	Bs	1.000 - 10.000
zout	S	10.000 - 20.000
hyperhalien	H	>20.000

5.5.2.5.1.2.2. Hardheidscode

11 hardheidscodes, steunend op de totale hardheid worden onderscheiden (tabel 5.8). De bovengrens van elk type is gedefinieerd als :

$$\text{bovengrens type } X = 2^X \quad (5.39)$$

indien de hardheid wordt uitgedrukt in mmol/l. Hierin is X een integer tussen -1 en 9.

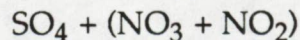
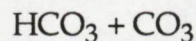
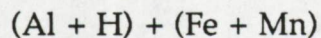
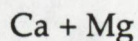
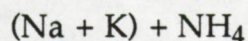
Tabel 5.8. Hardheidscodes in de klassifikatie van STUYFZAND

BENAMING	CODE	TOTALE HARDHEID	
		mmol/l	°F
zeer zacht	*	0 - 0,5	< 5
zacht	0	0,5 - 1	5 - 10
matig hard	1	1 - 2	10 - 20
hard	2	2 - 4	20 - 40
zeer hard	3	4 - 8	40 - 80
uiterst hard	4	8 - 16	80 - 160
uiterst hard	5	16 - 32	160 - 320
uiterst hard	6	32 - 64	320 - 640
uiterst hard	7	64 - 128	640 - 1.280
uiterst hard	8	128 - 256	1.280 - 2.560
uiterst hard	9	> 256	> 2.560

5.5.2.5.1.2.3. Type

Het type wordt niet, zoals bij de meeste andere klassifikatiesystemen, bepaald door het dominerende kation of anion in de ionenbalans. In de gebruikte klassifikatie wordt eerst, zowel voor de kationen als voor de anionen, de hydrochemische familie uitgekozen die, op meq/l-basis, meer dan de helft uitmaakt van de kationen of anionen.

Overeenkomstig figuur 5.5. zijn deze families :



De verwantschap in de families is van hydro- en/of geochemische aard.

Vervolgens wordt het dominerende ion of ionpaar (aangegeven tussen haakjes) aangeduid. Indien het een ionpaar betreft, dient nog te worden uitgemaakt welk van beide ionen het hoogste gehalte vertoont.

In het geval dat geen der families meer dan 50% van de kationen of anionen levert wordt voor de kationen de familie Na + K + NH₄ buiten beschouwing gelaten; het type wordt genoemd naar het sterkste kation van de belangrijkste overblijvende familie. Voor de anionen wordt onmiddellijk de naam Mix toegekend. In dit laatste geval kan een verdere differentiatie worden doorgevoerd met de termen MIC, MIS, MIN en MICl, naargelang respektievelijk HCO₃, SO₄, NO₃ of Cl een zekere boventoon voeren.

5.5.2.5.1.2.4. Kationuitwisselingscode

Het belang van de kationuitwisseling wordt uitgedrukt door de som van Na, K en Mg (in meq/l), aangepast voor de zeezoutbijdrage van deze ionen :

$$(Na + K + Mg)_{aangepast} = (Na + K + Mg)_{gemeten} - 1,061 \cdot Cl \quad (5.40)$$

Hierin stemt de term 1,061 . Cl overeen met het (Na + K + Mg)-gehalte (in meq/l) dat uitsluitend geleverd wordt door gemiddeld zeewater (RILEY & SKIRROW,1965).

Op dit aangepast (Na + K + Mg)-gehalte (kationuitwisselingsparameter) wordt dan een foutenmarge van $1/2 \sqrt{Cl}$ voorzien voor monsternamen- en analysefouten. De voorwaarden voor het toekennen van een bepaalde kationuitwisselingscode zijn gegeven in tabel 5.9 .

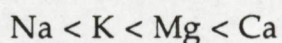
Tabel 5.9. Kationuitwisselingscode in de klassifikatie van STUYFZAND

BENAMING	CODE	VOORWAARDE
(Na + K + Mg) - tekort	-	$EXCH < -1/2 \sqrt{Cl}$
(Na + K + Mg) - evenwicht	0	$-1/2 \sqrt{Cl} \leq EXCH \leq +1/2 \sqrt{Cl}$
(Na + K + Mg) - overschot	+	$EXCH > +1/2 \sqrt{Cl}$

Een (Na + K + Mg)-tekort wijst meestal op een verdringing van zoet door zout water, waarbij de Ca-verzadigde klei (Na + K + Mg) uit het water opneemt, en Ca afgeeft. Een (Na + K + Mg)-overschot wijst meestal op een verdringing van zout

door zoet water, waarbij de (Na + K + Mg)-verzadigde klei Ca uit het water opneemt in ruil voor (Na + K + Mg).

Volgens de affiniteitssequentie van HOFMEISTER (STUMM & MORGAN,1981) wordt eerst Na, vervolgens K en tenslotte Mg uitgewisseld :



Het voorgaande gaat echter niet op wanneer :

- Na-, K-, of Mg - bevattende mineralen oplossen;
- organische stof (die Na, K, of Mg kan bevatten) oxydeert;
- meststoffen uitgeloozd worden;
- Na, K of Mg opgenomen worden bij mineraalvorming;
- organische stof opgebouwd wordt.

Beide laatste processen kunnen aanleiding geven tot een (Na + K + Mg)-tekort, de overige tot een overschot van deze parameters. Dit overschot of tekort kan, zonder de nodige oplettendheid, foutief worden geïnterpreteerd als zijnde het gevolg van kationuitwisseling.

5.5.2.5.2. Aangepaste concentraties volgens STUYFZAND

Chemische en/of fysische processen die aanleiding geven tot een aanrijking of verarming van ionen in het grondwater kunnen op een eenvoudige wijze worden aangetoond door het berekenen van het overschot of tekort van de diverse ionen t.o.v. Cl. Deze berekening steunt op het feit dat Cl zich konservatief gedraagt en dus niet gewijzigd wordt door de optredende kwaliteitswijzigende processen en op het feit dat de diverse ionen zowel in neerslagwater als in zeewater dezelfde vaste verhoudingen vertonen t.o.v. Cl. (STUYFZAND , 1984 en 1985).

De voor de zeezoutbijdrage aangepaste concentraties worden als volgt bepaald:

$$X^* = X - \alpha_x \cdot \text{Cl} \quad (5.41)$$

waarin $\alpha_x = (X/Cl)$ in zeewater
 X^* = de aangepaste concentratie
 X = de waargenomen concentratie.

Op mg/l basis krijgt men :

α_{Na}	=	0,55
α_K	=	0,02
α_{Ca}	=	0,021
α_{Mg}	=	0,067
α_{SO_4}	=	0,14

Positieve waarden voor X^* wijzen op een overschot en dus op een aanrijking van het beschouwde ion in het grondwater. Negatieve waarden daarentegen duiden op een tekort en bijgevolg op een verarming van het specifieke ion. De Na^* , K^* en Mg^* -concentraties worden vnl. beheerst door kationuitwisseling, de Ca^* -concentraties door kalkoplossing en kationuitwisseling en de SO_4^* -concentratie ondermeer door de oxydatie van ijzersulfiden en de reductie van SO_4 bij de afbraak van organisch materiaal.

5.5.2.5.3. Statistische verwerking van de analyseresultaten

De kwaliteitsevolutie die het grondwater heeft ondergaan wordt in het bestek van deze studie beschreven aan de hand van de gemiddelde samenstelling van een aantal verschillende waterkwaliteiten. Met het oog hierop werden de analyse-resultaten behorend tot een welbepaalde grondwaterkwaliteit statistisch verwerkt.

De statistische gegevens omvatten het gemiddelde, de standaardafwijking, de variantiecoëfficiënt, het minimum en het maximum. Ze worden in tabelvorm gegeven in paragraaf 5.5.2.7. .

De gemiddelde samenstelling van de verschillende grondwaters laat toe de voornaamste veranderingen die het grondwater heeft ondergaan te achterhalen.

5.5.2.5.3. Kaarten en doorsneden

Een aantal kaarten en doorsneden werden opgesteld teneinde de kenmerken van het grondwater te verduidelijken.

De verticale verdeling van de watertypes volgens STUYFZAND is weergegeven in twee doorsneden, respectievelijk doorheen de Avekapellekreek en de IJzercreek. Welke watertypes voorkomen aan top en basis van de beide kreekgebieden is eveneens op kaarten voorgesteld. De doorsneden en kaarten vormen de platen 5.6. tot 5.11. .

Voor de IJzercreek en de Avekapellekreek is de ruimtelijke en de verticale variatie van enkele verontreinigende parameters op kaart voorgesteld (plaat 5.12. tot 5.19.). Het betreft het gehalte aan Fe^{tot} , SO_4 , NH_4 , NO_3 en PO_4 .

Met het oog hierop werd het grondwaterreservoir ter hoogte van de peilbuizen voorgesteld door een opeenstapeling van hokjes, elk overeenstemmend met een diepte-interval van vijf meter. De concentratie van de beschouwde chemische parameter wordt dan vermeld in het hokje dat overeenstemt met de diepte waarop het grondwaterstaal is genomen.

5.5.2.5.5. Grafische verwerking van de analyseresultaten

De grafische weergave van de individuele analyseresultaten laat toe de veranderingen die het grondwater heeft ondergaan op diverse manieren te illustreren. De verschillende grafische voorstellingswijzen tonen steeds dezelfde chemische processen ; het is evenwel zinvol deze processen op meerdere wijzen te verduidelijken.

De variatie van de chemische parameters met de diepte is voorgesteld in figuur 5.6. tot 5.21. . Om de opgetreden chemische en fysische processen duidelijk tot uiting te laten komen werd voor de kationen Na, K, Mg en Ca, en voor het sulfaatgehalte gebruik gemaakt van de aangepaste concentraties volgens STUYFZAND ; voor de overige parameters werden de werkelijke gehalten uitgezet in functie van de diepte.

Eventuele verbanden tussen de verschillende chemische parameters worden onderzocht met behulp van een scattergram (fig. 5.22. tot 5.29.). Ook hier wordt voor de voornaamste kationen en het sulfaatgehalte gebruik gemaakt van de aangepaste concentraties.

Figuur 5.30. tot 5.36. geeft de relatieve verdeling van de voornaamste kationen en anionen, voorgesteld met behulp van een Piperdiagram.

5.5.2.6. Watertypes volgens STUYFZAND in de kreekgebieden.

5.5.2.6.1. Algemeen

De grondwaterstalen ontnomen uit de kreekgebieden werden geklassificeerd volgens STUYFZAND (1986).

13 watertypes werden waargenomen, nl. F-,Fb- en B-CaHCO₃ , F- en Fb-CaMix , F-CaSO₄ , F-,Fb- en B-NaHCO₃ , B-NaMix en B-,Bs- en S-NaCl. Het is evenwel mogelijk dat, naast de genoemde watertypes, nog andere aanwezig zijn. Mg-type waters werden niet aangetroffen ; Mg domineert meer dan waarschijnlijk nooit t.o.v. Ca.

5.5.2.6.2. Toepassing op de kreekgebieden

5.5.2.6.2.1. Verdeling van de watertypes in een vertikaal vlak

De verdeling van de watertypes in een vertikaal vlak wordt zeer schematisch verduidelijkt in twee doorsneden doorheen de IJzercreek en de Avekapellekreek (plaat 5.6. en 5.7.). Meer gedetailleerde doorsneden vereisen een veel groter aantal analyseresultaten op meer uiteenlopende diepte-intervallen.

De verticale opeenvolging van de diverse watertypes kan het best worden bestudeerd aan de hand van de doorsnede doorheen de IJzercreek (plaat 5.7.); voor de Avekapellekreek zijn te weinig analyseresultaten uit de overgangszone tussen zoet en zout water voorhanden. De tendenzen afgeleid voor de IJzercreek gelden evenwel ook voor de Avekapellekreek.

Met een toename van de diepte kan een opeenvolging van de volgende watertypes worden vastgesteld :

- (1) de F-CaHCO₃ , F-CaMix en F-CaSO₄-types ;
- (2) de Fb-CaHCO₃ en Fb-NaHCO₃-types ;
- (3) de B-CaHCO₃ en B-NaHCO₃-types ;
- (4) het B-NaCl-type ;
- (5) het Bs-NaCl-type ;
- (6) het S-Na Cl-type.

Zowel in de IJzer- als in de Avekapellekreek is de topzone van het kwartaire grondwaterreservoir in hoofdzaak verzadigd met water van het F-CaHCO₃-type. Het betreft zoet water met als gevolg van kalkoplossing een dominantie van Ca en HCO₃ over de andere ionen. Het watertype vertoont geen of weinig kationuitwisseling (kationuitwisselingscode = \emptyset of +); de zeezouten (Na, K en Mg) die oorspronkelijk aan de kleifractie van het sediment waren geadsorbeerd zijn nagenoeg volledig uitgewassen en vervangen door Ca-ionen. Een nieuw evenwicht tussen het poreuze medium en het doorsijpelende water heeft zich ingesteld wat erop wijst dat het pakket reeds lang met zoet water is doorspoeld.

Het F-CaHCO₃-type water reikt in de IJzerkreek tot een diepte van 3 tot 5 m beneden maaiveld stroomopwaarts Lo-Reninge en tot een diepte van ca. 8 m in meer stroomafwaartse richting. De diepere uitspoeling van de konnate zeezouten in deze laatste zone hangt samen met de toenemende dikte van de doorlatende kreek-sedimenten. In de Avekapellekreek kan de diepte tot waar het F-CaHCO₃-type water reikt niet worden bepaald uit de beschikbare analyseresultaten. De grondwateranalyses behorend tot dit watertype zijn alle op minder dan 6 m diepte onttrokken. Analyses uit de overgangszone tussen zoet en zout water zijn schaars. Uit de geo-elektrische boorgatmetingen (par. 5.5.1.6.) mag evenwel worden afgeleid dat in het grootste deel van de Avekapellekreek dit watertype tot op meer dan 10 m diepte wordt aangetroffen. In de richting van Pervijze en in de zones die beïnvloed zijn door afwateringskanalen reikt het F-CaHCO₃-water minder diep.

Lokaal worden waters van het F-CaMix-type en het F-CaSO₄-type aangetroffen (peilbuizen SB1F2, SB8PB5, SB8F2, HSB40F, HSB41F, HSB42F). Het zijn alle peilbuizen die gelegen zijn nabij een vroegere zandwinning te Nieuwkapelle; deze vormt thans een omvangrijke waterplas in het landschap.

De Mix- en SO₄-types vertonen ten gevolge van de kalkoplossing een dominantie van Ca over de andere kationen, doch door de hoge tot zeer hoge SO₄²⁻-gehalten is HCO₃ niet langer dominant t.o.v. de andere anionen (Mix-type) of kan zelfs SO₄ het belangrijkste kation zijn (SO₄-type). De hoge sulfaatgehalten in deze omgeving zijn meer dan waarschijnlijk het gevolg van een belangrijke verlaging van het grondwaterpeil ten tijde van zandwinning, waardoor een intensieve oxydatie van de ijzersulfiden kon optreden. De ijzersulfiden zijn aanwezig in de kleiige sedimenten die de zandige kreekafzettingen bedekken. De hoge sulfaatgehalten laten zich gevoelen tot op ca. 8 m diepte; tot op deze diepte zijn Mix-waters aangetroffen.

In de onmiddellijke nabijheid van de vroegere zandwinning is, op een diepte van 12 m, F-NaHCO₃-water aangetroffen (peilbuis SB1F1). Het betreft zoet water dat wel een duidelijke kationuitwisseling heeft ondergaan (kationuitwisselingsparameter = +10). Het is grondwater dat gekenmerkt is door een overschot aan Na + K + Mg en een tekort aan Ca t.o.v. HCO₃. Het grondwater is duidelijk niet in evenwicht met het sediment ; het is water dat is ontstaan door de verdringing van zout door zoet water. Het is bovendien een abnormaal watertype dat eerder de kenmerken vertoont van de zoet-brakke en brakke waters, doch dat een zeer laag chloridegehalte bezit. Het is waarschijnlijk ontstaan als gevolg van de zandwinning.

De zoete watertypes gaan op grotere diepte over in zoet-brakke waters van het Fb-CaHCO₃ of het Fb-NaHCO₃-type, waarbij het laatstgenoemd type overheerst. Het zijn steeds waters die een merkbare kationuitwisseling hebben ondergaan ; ze zijn bijgevolg gekenmerkt door een overschot aan Na + K + Mg en een tekort aan Ca t.o.v. HCO₃. Het chloride van de natuurlijke zeezoutbijdrage is nog niet voldoende hoog om het HCO₃ als voornaamste anion te verdringen. Het dominante kation is ofwel Ca ofwel Na. Welk ion domineert hangt in hoofdzaak af van de mate waarin kationuitwisseling zich heeft voorgedaan. De Ca-waters vertonen een eerder geringe kationuitwisselingsparameter, gemiddeld gelijk aan +3. Het door kationuitwisseling toegenomen Na-gehalte is nog niet voldoende om te domineren over het Ca, gevormd door kalkoplossing.

De gemiddelde kationuitwisselingsparameter van +7 voor de Na-waters wijst daarentegen op een reeds min of meer uitgesproken kationuitwisseling, waarbij thans de toename van het Na-gehalte en de korresponderende afname van het Ca-gehalte toelaten dat Na het dominante kation is in dit watertype.

Zoet-brakke Mix- en SO₄-type waters zijn vooral aanwezig aan de randen van de kreekgebieden, waar het zoet-brakke water reeds op geringe diepte voorkomt. Meer centraal in de kreekgebieden zijn deze watertypes waarschijnlijk slechts zeer lokaal vertegenwoordigd als gevolg van de algemeen optredende sulfaatreductie waardoor het sulfaatgehalte steeds vrij laag is.

Het diepte-interval waartussen de zoet-brakke waters voorkomen is waarschijnlijk gering in dikte. Dit kan worden afgeleid uit de waterstalen ontnomen ter hoogte van boring SB3 (plaat 5.7.) waar F-CaHCO₃-type water overgaat in B-CaHCO₃-type water over een diepte-interval van slechts 0,5 m.

Onder de zoet-brakke waters treft men brak grondwater, hoofdzakelijk van het CaHCO_3 en het NaHCO_3 -type aan. De kenmerken van het brakke water zijn vergelijkbaar met deze van het zoet-brakke grondwater. Het verschil ligt in het toenemend chloridegehalte, en dus het sterker mariene karakter, en de steeds belangrijker wordende kationuitwisseling. De uitwisselingsparameter varieert voor de Ca-types en de Na-types respectievelijk tussen +3 en +8 en tussen +8 en +13. Mix-types zijn opnieuw het meest uitgesproken aan de randen van de kreken.

Het B- CaHCO_3 -type grondwater kan slechts voorkomen onder het Fb- CaHCO_3 -type, het B- NaHCO_3 -type daarentegen onder zowel het Fb- CaHCO_3 -type als het Fb- NaHCO_3 -type.

Onder deze watertypes zijn nog enkel NaCl-waters aanwezig, achtereenvolgens behorend tot het brakke (B), het brak-zoute (Bs) of het zoute (S) hoofdtype. Na en Cl maken steeds meer uit dan 50% van de totale kation- of anionkoncentratie, daar thans de zeezoutbijdrage belangrijker wordt dan de overige kwaliteitsbepalende processen.

De kationuitwisselingsparameter is over het algemeen hoog (gemiddeld +13,5) voor de waterstalen behorend tot het brakke en het brak-zoute water. Het is dus grondwater met een belangrijke aanrijking aan (Na + K + Mg) en een verarming aan Ca. Het waterstaal uit de peilbuis SB5F1 vertoont evenwel weinig of geen kationuitwisseling en is schijnbaar in evenwicht met het sediment (kationuitwisselingsparameter = +1,1).

Het S-NaCl-type water is enkel aanwezig waar de kreeksedimenten hun grootste dikte bereiken. Het is grondwater dat de samenstelling van zeewater benadert en dat een geringe kationuitwisselingsparameter vertoont (kationuitwisselingscode = \emptyset). Het water is schijnbaar in evenwicht met het sediment en heeft blijkbaar slechts een geringe menging met zoet water ondergaan.

5.5.2.6.2.2 Ruimtelijke verspreiding van de watertypes

De ruimtelijke variatie van de watertypes in de topzone (waterstalen ontnomen op ca. 5 m diepte) en aan de basis van de kreekgebieden is voor de beide gebieden weergegeven op de platen 5.8. t/m 5.11. .

5.5.2.6.2.2.1. Watertypes in de topzone van de kreekgebieden (ca. 5 m diepte)

Het F-CaHCO₃-type grondwater is zowel in de IJzer- als in de Avekapellekreek kenmerkend voor het ondiepe zoete grondwater (plaat 5.8. en 5.10.). Slechts ter hoogte van de zandwinning in Nieuwkapelle komen F-CaMix en F-CaSO₄-types voor.

Aan de randen van de IJzer- en de Avekapellekreek worden watertypes, behorend tot de overgangszone tussen zoet en zout grondwater aangetroffen. Het betreft ondermeer waters van het Fb-NaHCO₃-type (HSB5 , HSB32) , het Fb- en B-CaHCO₃-type (SB9,SB12) en het Fb-CaMix-type (HSB39). Het voorkomen van deze watertypes op een dergelijk hoog peil is het gevolg van de geringe neerslagwaterinfiltratie aan de randen van de kreekgebieden waardoor het uitspoelen van de oorspronkelijke zeezouten slechts langzaam voortschrijdt.

In de Avekapellekreek is het gebied ten oosten van de Aa-Vaart (plaat 5.8.) gekenmerkt door een beperkte infiltratie van neerslagwater. Er wordt dan ook op geringe diepte grondwater waargenomen met een nog uitgesproken marien karakter. Ter hoogte van de boring SB43 betreft het B-NaMix-water. Dit waterstaal is in overeenstemming met de in dat gebied uitgevoerde geo-elektrische boorgatmetingen .

5.5.2.6.2.2.2. Watertypes in de basiszone van de kreekgebieden

Nagenoeg overal is de basiszone van de kreekgebieden verzadigd met watertypes met een nog uitgesproken marien karakter. Afhankelijk van de dikte van de zandige sedimenten varieert het hoofdtype van brak tot zout.

In de Avekapellekreek is het gebied tussen Avekapelle en Pervijze (plaat 5.9.) gekenmerkt door de aanwezigheid van het S-NaCl-type water met geringe kationuitwisseling. Vergelijking met de diktekaart van de zandige kreeksedimenten (plaat 2.17.) toont aan dat dit type water aanwezig is in de zone waar de zandige afzettingen meer dan 15 m dik zijn.

In gebieden beïnvloed door afwateringskanalen kan zout water evenwel op een hoger peil voorkomen. Het is dan wel gekenmerkt door een sterkere menging met zoet water en bijgevolg door een meer uitgesproken kationuitwisseling.

Rond deze zone en in de diepste delen van de kreek tussen Avekapelle en Eggewaartskapelle wordt water van het Bs-NaCl-type aangetroffen. Dit water vertoont sterk uiteenlopende Cl-gehalten, wijzend op een wisselende mate waarin het konnate zeewater is uitgespoeld.

In de IJzercreek wordt slechts op één plaats het voorkomen van zout grondwater vastgesteld. Het betreft de peilbuis SB8F1, waar de IJzercreek een diepe insnijding in het ondoorlatend substraat vertoont ; de zandige kreekopvulling bereikt er een dikte van 20 m. Elders is steeds een min of meer belangrijke menging met zoet infiltratiewater opgetreden. Stroomopwaarts van Pollinkhove (plaat 5.11) worden hoofdzakelijk brakke waters van het CaHCO_3 -type of het NaHCO_3 -type aangetroffen. Ze domineren er wegens de eerder geringe dikte van de kreeksedimenten (6 tot 8 m), waardoor de infiltratie van zoet water steeds kan reiken tot aan de basis ervan. De breedte van de kreek is in deze zone bovendien onvoldoende breed om een volledige uitspoeling van het konnate zeewater toe te laten.

Ook stroomafwaarts van Pollinkhove verzadigen deze types de basis van de kreeksedimenten waar deze een geringe dikte bereiken (bv. SB6 en SB7). Hier vertoont de IJzercreek echter een aantal diepere insnijdingen waar water met een sterker marien karakter is bewaard gebleven. Het betreft meestal B-of Bs-NaCl-water.

Naar de randen van de IJzercreek en Avekapellekreek toe vertoont het water aan de basis, door de geringe dikte van de kreeksedimenten, steeds een relatief ver gevorderde menging met zoet water. Andere watertypes zoals het Fb- NaHCO_3 -type (HSB5 en HSB32), het Fb- en B- CaHCO_3 -type (SB9,SB12) en het Fb- CaMix -type (HSB39) worden er aangetroffen.

Plaatselijk worden watertypes die niet passen in het bovenbeschreven scenario waargenomen. Ter hoogte van de boringen SB21 en SB30 wordt juist boven het ondoorlatend substraat, respectievelijk op het peil -4 en -8,6, zoet-brak water van het NaHCO_3 -type aangetroffen, terwijl een meer marien watertype mocht worden verwacht. Deze waarneming wijst erop dat plaatselijk de neerslaginfiltratie zeer intens kan zijn. Ter hoogte van boring SB32 wordt brak water van het NaMix - type aangetroffen. Het hoge SO_4 -gehalte en het te geringe Cl-gehalte maken dat geen van de anionen 50% van het totale aniongehalte uitmaken. Het is een abnormaal

watertype, daar het ,in tegenstelling met de algemene situatie, niet gekenmerkt is door sulfaatreductie.

5.5.2.6.2.3. Evolutie van het grondwater in de kreekgebieden

De kationuitwisselingscode in de klassificatie van STUYFZAND geeft aan of het grondwater in evenwicht is met het sediment en zo niet, welk verdringingsproces is opgetreden : een verdringing van zout door zoet water (verzoeting) of een verdringing van zoet door zout water (verzilting). Zoals aangegeven in paragraaf 5.5.2.5.1.2.4. geeft eerstgenoemd verdringingsproces aanleiding tot een positieve kationuitwisselingscode, laatstgenoemd proces tot een negatieve code. De afwisseling van grondwaterlagen met een positieve en negatieve kationuitwisselingscode duiden dan op het optreden van meerdere opeenvolgende fasen. De klassifikatie van STUYFZAND levert dus informatie over de globale evolutie die het grondwater heeft ondergaan.

Uit de kationuitwisselingscode van de hierboven beschreven watertypes volgt dat slechts één evolutiefase het grondwater in de kreekgebieden heeft beïnvloed : de verdringing van konnaat zeewater door zoet infiltratiewater na de definitieve terugtrekking van de zee.

In de diepste delen van de kreekgebieden is zout grondwater aanwezig dat slechts een geringe menging met zoet water heeft ondergaan. Het vertoont weinig of geen kationuitwisseling en is dus nagenoeg in evenwicht met het sediment. Het is grondwater dat vergelijkbaar is met het konnate zeewater.

Hierop rusten waters welke door menging met zoet infiltratiewater duidelijke veranderingen hebben ondergaan. De verstoring van het evenwicht tussen grondwater en sediment ten gevolge van de menging met zoet water gaf aanleiding tot kationuitwisseling waarbij de (Na + K + Mg)-verzadigde klei deze kationen afstond aan het grondwater in ruil voor Ca. In deze zone worden dan ook typische verzoetingswaters zoals het NaHCO₃-type aangetroffen. De kationuitwisseling is het meest uitgesproken aan de basis van deze zone en neemt geleidelijk af in belang naar boven toe.

Op de door kationuitwisseling gewijzigde waters rust zoet water van het CaHCO₃-type. Het is grondwater dat nog weinig door kationuitwisseling is beïnvloed. Het is nagenoeg in evenwicht met het sediment wat erop wijst dat in deze zone van het grondwaterreservoir het konnate zeewater reeds nagenoeg volledig is uitgespoeld.

De klassifikatie van STUYFZAND wijst op een vrij eenvoudig evolutieproces van het grondwater. Uit de bespreking van de afzonderlijke chemische parameters in paragraaf 5.5.2.7. blijkt dit niet zo te zijn. Vooral het feit dat het zoute grondwater in evenwicht zou zijn met het sediment wordt tegengesproken.

5.5.2.7. Hydrochemie van het grondwater in de kreekgebieden.

5.5.2.7.1. Algemeen

De chemische samenstelling van het grondwater in de kustvlakte wordt in belangrijke mate bepaald door de samenstelling van twee uitersten, regenwater enerzijds en zeewater anderzijds.

De neerslagwaterkwaliteit werd voor het studiegebied afgeleid uit gegevens van het Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie (I.H.E.) betreffende het meetstation te Brugge (Kerkhof-Blauwe Toren). De afstand van dit waarnemingsstation tot de zee is immers vergelijkbaar met de overeenkomstige afstand voor het studiegebied. Er kon worden beschikt over dagelijkse meetresultaten voor de periode juni 1984 tot april 1987. Evenwel worden niet alle parameters steeds geanalyseerd.

De gemiddelde neerslagwaterkwaliteit (gewogen gemiddelden) is gegeven in tabel 5.10. Het betreft zoet, zeer zacht water van het F*-NaClø-type volgens de klassificatie van STUYFZAND.

De samenstelling van het water dat werkelijk infiltreert, het infiltratiewater, wordt verkregen na vermenigvuldiging van de ionenkoncentraties in het neerslagwater met de indampingsfaktor, die aangeeft in welke mate de neerslag een indamping ondergaat. Uitgaande van de gemiddelde waterbalans beschreven in paragraaf 4.2.2. mag deze faktor benaderend gelijk worden gesteld aan 3,0, zijnde de verhouding tussen de totale neerslag (698,2 mm) en het neerslagoverschot na verdamping (229 mm). De aldus verkregen samenstelling wordt gegeven in tabel 5.11.

Tabel 5.10. Neerslagwaterkwaliteit te Brugge Blauwe Toren (gewogen gemiddelden voor de periode juni '84 - april '87).

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	Minimum	Maximum
Na	mg/l	343	2,79	0,25	29,24
K	mg/l	346	0,43	DL*	18,00
Ca	mg/l	308	1,73	DL*	12,93
Mg	mg/l	313	0,34	DL*	2,63
NH ₄	mg/l	346	1,05	DL*	11,27
Cl	mg/l	345	4,59	0,15	43,70
SO ₄	mg/l	346	4,77	0,72	20,30
NO ₃	mg/l	347	2,39	DL*	27,11
G	μS/cm	319	38,50	9,00	207,00
pH		321	5,25	3,76	7,34

DL* = beneden de detectielimiet

Tabel 5.11. Samenstelling van het infiltratiewater (mg/l) na indamping met een faktor gelijk aan 3.

Na	8,37	Cl	13,77
K	1,29	SO ₄	14,31
Ca	5,19	NO ₃	7,17
Mg	1,29		
NH ₄	3,15		

De samenstelling van het andere uiterste , zeewater, is opgenomen in tabel 5.12. Het is de samenstelling van Noordzeewater bemonsterd te Blankenberge (J. DEVOS, 1984).

Tabel 5.12. Samenstelling van strandwater te Blankenberge (J. DEVOS , 1984).

Kationen	mg/l	meq/l	Anionen	mg/l	meq/l
Na	8.630,23	75,22	Cl	16.105,54	54,19
K	572,61	4,65	SO ₄	2.173,54	5,28
Ca	359,31	7,94	NO ₃	0,22	0,004
Mg	1.079,38	8,76	NO ₂	0,01	-
Fe ^{tot}	0,15	0,01	HCO ₃	164,70	2,70
Mn	0,30	0,01	CO ₃	0	-
NH ₄	1,16	0,04	PO ₄	0,61	0,02
TH	595,95	°F			
TDS	29.088	mg/l			
SiO ₂	2,67	mg/l			

5.5.2.7.2. Chemische samenstelling van het grondwater in de kreekgebieden.

5.5.2.7.2.1. Algemeen

De bespreking van de opeenvolgende kwaliteitszones in de kreekgebieden, welke een gevolg zijn van de verdringing van zout door zoet water, geschiedt aan de hand van de gemiddelde samenstelling van het grondwater in deze zones. Met het oog hierop werden de individuele analyseresultaten statistisch verwerkt. Hierbij werd geen onderscheid gemaakt tussen de analyseresultaten van de IJzer- en van de Avekapellekreek.

Uitgaande van de gemiddelde samenstelling werden voor elke kwaliteitszone de aangepaste concentraties volgens STUYFZAND berekend, en dit zoals beschreven in paragraaf 5.5.2.5.2. .

De afbakening van de kwaliteitszones is in de eerste plaats gesteund op de klassifikatie van STUYFZAND. Het grondwater wordt, in overeenstemming met de hoofdtypes ingedeeld in zoet, zoet-brak, brak, brak-zout en zout water.

Een verdere onderverdeling drong zich evenwel op. De indeling van het zoete grondwater (F-type) in weinig beïnvloed zoet water enerzijds en beïnvloed zoet water anderzijds leek zinvol. Het brak-zoute grondwater in de klassifikatie van STUYFZAND omvat een vrij groot chloride-interval : 1.000 tot 10.000 mg/l. Om de grondwaterkwaliteit ervan meer gedetailleerd weer te geven werd een bijkomende onderverdeling in matig zout-brak water enerzijds en zeer zout-brak water anderzijds doorgevoerd. De grens tussen beide klassen is deze tussen brak en zeer brak water in de klassifikatie van DE MOOR & DE BREUCK (1969), nl. een totaal zoutgehalte van 6.400 mg/l.

De in deze paragraaf voorgestelde evolutie van de grondwaterkwaliteit houdt slechts rekening met de belangrijkste processen die de samenstelling van het grondwater hebben beïnvloed. De extrapolatie van de waargenomen veranderingen in de samenstelling van het grondwater naar de processen, die ervoor verantwoordelijk zijn, is echter vaak zeer moeilijk wegens de veelvuldigheid en de soms grote complexiteit van de chemische reacties. De verschillende ionen gedragen zich dan ook niet voor alle analyseresultaten in overeenstemming met de voorgestelde kwaliteitsevolutie. Dit doet evenwel geen afbreuk aan de juistheid van deze laatste daar de meerderheid van de analyseresultaten eraan voldoet en de evolutie bijgevolg staat voor de gemiddelde situatie.

5.5.7.2.2.2. Weinig beïnvloed zoet grondwater

Het zoete grondwater in de kreesedimenten bevat nagenoeg steeds wat konnate zeezouten, zoals blijkt uit het hoge gemiddelde chloridegehalte van 47 mg/l (tabel 5.16). Op één plaats in de Avekapellekreek (peilbuis SB22F2), op een diepte van 3 m, is evenwel weinig beïnvloed grondwater aangetroffen dat nog vrij goed overeenstemt met neerslagwater. Het betreft zoet, zeer hard grondwater van het F-CaHCO₃-type volgens STUYFZAND ; de samenstelling ervan is gegeven in tabel 5.13.

Ten gevolge van de hoge Ca- , HCO₃- en SO₄-gehalten loopt het totale gehalte aan opgeloste stoffen (TDS) toch op tot 805 mg/l.

Tabel 5.13. Samenstelling van weinig beïnvloed zoet grondwater van het F-CaHCO₃-type.

Parameter	Eenheid	Waarde	Parameter	Eenheid	Waarde
Na	mg/l	7,61	Cl	mg/l	12,63
K	mg/l	3,93	SO ₄	mg/l	68,33
Ca	mg/l	179,20	NO ₃	mg/l	0,00
Mg	mg/l	12,22	HCO ₃	mg/l	514,23
Fe	mg/l	5,39	PO ₄	mg/l	0,64
NH ₄	mg/l	0,49			
TDS	mg/l	805			
pH		7,43			
TH	° F	49,85			
SiO ₂	mg/l	56,96			

Chloride gedraagt zich konservatief, d.w.z. dat het niet deelneemt aan de reacties die de grondwatersamenstelling wijzigen. Aan de hand van het chloridegehalte kan dan ook de indampingsfaktor van het neerslagwater worden bepaald, doch enkel indien het chloride in het grondwater volledig afkomstig is van de neerslag en niet van zeezoutbijmenging tijdens de infiltratie. Het lage chloridegehalte van slechts 12,6 mg/l in het weinig beïnvloede zoete grondwater laat toe te veronderstellen dat aan deze voorwaarde is voldaan.

De indampingsfaktor wordt bekomen uit de verhouding tussen het chloridegehalte in het grondwater en dit in neerslagwater (H. SCHOELLER, 1962) : $12,63 / 4,59 = 2,75$. Deze waarde is iets lager dan de indampingsfaktor van 3,0 gevonden aan de hand van de waterbalans van de onverzadigde zone (par 4.2.2.). Het grondwaterstaal is blijkbaar afkomstig van een plaats met een intense neerslagwaterinfiltratie.

De kationuitwisselingsparameter van het waterstaal is positief, doch klein : +1,06 meq/l. Het grondwater vertoont nog slechts sporen van kationuitwisseling en is bijgevolg nagenoeg in evenwicht met het sediment. De uitspoeling van het konnate zeewater is in deze zone van het grondwaterreservoir bijna volledig.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.14.

Tabel 5.14. Aangepaste concentraties voor weinig beïnvloed, zoet grondwater (mg/l).

Na*	+	1	Ca*	+	179
K*	+	4	SO ₄ *	+	67
Mg*	+	11			

Het overschot aan Mg, en in mindere mate dit van K, duidt op een geringe kationuitwisseling. Overeenkomstig de affiniteitssequentie van HOFMEISTER wordt in deze laatste uitwisselingsfase nog slechts Mg door het sediment aan het water afgegeven in ruil voor Ca. Na en ook K zijn reeds vroeger nagenoeg volledig uitgewassen.

Het overschot aan Ca geeft zeer duidelijk de kalkoplossing volgens de reaktievergelijkingen (5.10) en (5.11) aan : het infiltratiewater heeft op zijn weg naar de verzadigde zone grote hoeveelheden Ca en HCO_3 opgenomen.

Het overschot aan SO_4 kan niet volledig worden verklaard door de afzetting van luchtverontreinigingsbestanddelen. Een deel van het SO_4 is zeker afkomstig van de oxydatie van ijzersulfiden volgens de reacties in tabel 5.2. Het relatief hoge ijzergehalte (5,4 mg/l) wijst in deze richting.

De concentraties aan NH_4 en PO_4 zijn zeer gering ; NO_3 , dat een vrij hoge concentratie bezit in het infiltratiewater, is door denitrifikatie en opname door de vegetatie volledig verdwenen. In vergelijking met neerslagwater is de pH duidelijk gestegen. De oplossing van CaCO_3 zorgt dus voor de buffering van de zuurtegraad in het water. Als gevolg van de oplossing van silicaten bedraagt het SiO_2 -gehalte reeds 56 mg/l.

De chemische veranderingen welke het infiltratiewater omvormen tot weinig beïnvloed grondwater kunnen worden gekwantificeerd d.m.v. een massabalans, uitgaande van de reaktievergelijkingen gegeven in paragraaf 5.2.4. (STUYFZAND ,1985). Een dergelijke balans is gegeven in tabel 5.15. Als toetsingsterm in de balans fungeert HCO_3 .

De volgende kanttekeningen moeten hierbij worden geplaatst :

- (1) Voor SO_4^* werd een verhouding 1: 2 tussen natte en droge afzetting verondersteld (118 : 236 $\mu\text{mol/l}$). Een dergelijke verhouding stemt goed overeen met de werkelijkheid (STUYFZAND, 1984). De verhoging van het sulfaatgehalte als gevolg van de droge afzetting werd arbitrair voor 90% geweten aan reactie (5.3) en voor 10% aan reactie (5.5). Het resterende verschil tussen SO_4^* in het infiltratiewaterwater en grondwater is volledig afkomstig van de oxydatie van ijzersulfiden. Er werd gekozen voor reactie (5.16) ;
- (2) De hoeveelheid droog afgezette NO_x wordt gegeven door : $1,9 * \text{NO}_3^-$ (VAN AALST & DIEDEREN, 1982). Gemakshalve is aangenomen, dat het verschil tussen het NO_3 in ingedampt neerslagwater plus het tijdens de reacties (5.4) t/m (5.6) gevormde NO_3 en het in grondwater aangetroffen NO_3 -gehalte voor 50% tot stand komt door NO_3 -opname door de vegetatie en voor 50% door denitrifikatie ;

- (3) Gemakshalve is verondersteld, dat 50% van het NH_4 in infiltratiewater genitrificeerd wordt volgens (5.6) en de overige 50% opgenomen wordt door de vegetatie.

Tabel 5.15. Massabalans voor weinig beïnvloed, ondiep, zoet grondwater (koncentraties in $\mu\text{mol/l}$).

$\mu\text{mol/l}$	NH_4^+	NO_3^-	SO_4^*	H^+	HCO_3^-	Ca^*	Na^*	K^*	Mg^*	Fe
<u>Regenwater*2,7</u>	159	106	118	16	0	112	32	23	4	1
<u>Reacties</u>										
(5.3)	-	-	+209	+418	-	-	-	-	-	-
(5.4)	-	+198	-	+198	-	-	-	-	-	-
(5.5)	-	+46	+23	+92	-	-	-	-	-	-
(5.6)	-66	+66	-	+130	-	-	-	-	-	-
(5.7)	-66	-	-	+66	-	-	-	-	-	-
(5.8)	-	-208	-	-	+208	-	-	-	-	-
(5.9)	-	-208	-	-	+208	-	-	-	-	-
(5.10)	-	-	-	-1267	+1267	+1267	-	-	-	-
(5.11)	-	-	-	-	+6018	+3009	-	-	-	-
(5.13)	-	-	-	-	+990	-	+11	+79	+449	-
(5.16)	-	-	+347	+347	-	-	-	-	-	+174
(5.20)	-	-	-	-	-	+78	-	-	-	-78
<u>Grondwater</u>										
berekend	27	0	697	0	8691	4466	43	102	453	97
waargenomen	27	0	697	0	8427	4466	43	102	453	97

Het berekende HCO_3 -gehalte benadert de gemeten concentratie vrij goed, zeker wanneer de niet exact juiste ionenbalans van het grondwaterstaal in acht wordt genomen : som kationen - som anionen = 0,385 meq/l. Dit tekort aan negatieve lading kan overeenstemmen met 385 $\mu\text{mol/l}$ HCO_3 .

De SO_4^* -concentratie is voor 60% afkomstig van de oxydatie van pyriet ; de korresponderende Fe-toename wordt voor 45% gebufferd door CaCO_3 of geoxydeerd.

5.5.2.7.2.3. Beïnvloed zoet grondwater

Van dit water zijn 38 analyseresultaten beschikbaar : 13 uit de IJzercreek en 25 uit de Avekapellekreek. Voor laatstgenoemde kreek behoren alle stalen tot het F-CaHCO₃-type ; in de IJzercreek worden drie types onderscheiden : F-CaHCO₃ (7 waterstalen), F-CaMix (5 waterstalen) en F-CaSO₄ (1 waterstaal). De samenstelling van deze waters is gegeven in de tabellen 5.16, 5.17 en 5.18.

Het betreft zoet, zeer hard water met als gevolg van kalkoplossing steeds een dominantie van Ca over de andere kationen en meestal een dominantie van HCO₃ over de andere anionen. Slechts nabij de vroegere zandwinning te Nieuwkapelle (par. 5.5.2.6.2.1.) geeft het hoge sulfaatgehalte aanleiding tot Mix en zelfs SO₄-type waters. In deze gevallen verdringt, althans op anionbasis, de oxydatie van ijzersulfiden de kalkoplossing als voornaamste chemisch proces.

Het totale zoutgehalte varieert tussen 700 en 1.640 mg/l. In vergelijking met het weinig beïnvloede grondwater kan een algemene verhoging van de concentraties worden waargenomen. De stijgende concentraties zijn te wijten aan een grotere zeezoutbijdrage; het chloridegehalte is immers gestegen tot 47 mg/l.

De bijdrage van de zeezouten wordt bevestigd door het feit dat dit grondwater niet meer rechtstreeks uit neerslagwater kan worden afgeleid. Om het chloridegehalte te kunnen verklaren zou een indamping van de neerslag met een factor 10,3 noodzakelijk zijn. Dit is weinig waarschijnlijk en duidelijk in tegenspraak met de waterbalans van de onverzadigde zone.

Aan de hand van het chloridegehalte kan het percentage aan konnaat zeewater op ca. 0,2% worden geschat.

De kationuitwisselingsparameter is meestal positief, doch nog steeds gering ; hij varieert tussen - 1 en + 4 meq/l. Het grondwater is bijna in evenwicht met het sediment, het vertoont in vergelijking met het weinig beïnvloede grondwater meer uitgesproken sporen van kationuitwisseling. Dit proces kan plaatselijk zelfs belangrijk zijn, getuige de kationuitwisselingsparameter van +7 ter hoogte van de boring SB41. Waarschijnlijk is de kationuitwisseling het meest uitgesproken daar waar het infiltratiewater zich doorheen een dik bedekkend kleipakket beweegt. Ter hoogte van SB41 bedraagt deze dikte 4 m.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.19.

Tabel 5.16. Samenstelling van beïnvloed zoet grondwater van het F-CaHCO₃-type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/ \bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	32	27,43	13,44	0,49	10,44	63,10
K	mg/l	32	16,08	21,96	1,37	0,70	77,28
Ca	mg/l	32	198,75	48,86	0,25	119,18	334,65
Mg	mg/l	32	21,74	12,53	0,58	6,93	67,60
Fe	mg/l	32	2,56	2,51	0,98	0,05	11,94
NH ₄ (*)	mg/l	32	1,44	2,35	1,63	0,07	10,13
Cl	mg/l	32	47,34	25,80	0,54	16,78	147,80
SO ₄	mg/l	32	153,50	68,13	0,44	26,75	333,31
NO ₃ (*)	mg/l	32	5,90	15,26	2,59	0,00	79,93
HCO ₃	mg/l	32	558,06	112,01	0,20	312,32	766,16
PO ₄	mg/l	32	2,03	2,16	1,06	0,11	9,61
TDS	mg/l	32	1034	181,64	0,18	699	1639
pH		32	7,31	0,230	0,03	6,99	8,21
TH	° F	32	59,59	11,73	0,20	36,37	88,68
SiO ₂	mg/l	32	52,73	20,85	0,40	11,29	93,31

(*) Parameters die sterk beïnvloed worden door lokale verontreiniging. Worden de abnormaal hoge concentraties geweerd, dan worden de volgende gemiddelde gehalten gevonden :

NH₄ (N=30) : 0,86 mg/l

NO₃ (N=29) : 0,83 mg/l.

Tabel 5.17. Samenstelling van beïnvloed zoet grondwater van het F-CaMix-type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	5	40,76	26,14	0,64	18,07	84,40
K	mg/l	5	10,84	7,63	0,70	3,86	21,07
Ca	mg/l	5	277,60	78,42	0,28	205,99	365,43
Mg	mg/l	5	23,31	4,35	0,19	18,97	29,76
Fe	mg/l	5	6,51	5,06	0,78	1,95	14,58
NH ₄	mg/l	5	0,61	0,42	0,69	0,11	1,17
Cl	mg/l	5	83,50	32,88	0,39	48,71	118,26
SO ₄	mg/l	5	376,00	104,42	0,28	264,87	506,27
NO ₃	mg/l	5	1,56	1,36	0,87	0,12	3,60
HCO ₃	mg/l	5	488,12	122,95	0,25	401,38	689,91
PO ₄	mg/l	5	0,78	0,38	0,49	0,23	1,27
TDS	mg/l	5	1310	307,92	0,24	987	1664
pH		5	7,53	0,32	0,04	7,18	7,91
TH	° F	5	79,51	20,12	0,25	57,80	101,25
SiO ₂	mg/l	5	39,65	8,94	0,23	33,51	54,57

Tabel 5.18. Samenstelling van beïnvloed zoet grondwater van het F-CaSO₄-type.

Parameter	Eenheid	Waarde	Parameter	Eenheid	Waarde
Na	mg/l	18,20	Cl	mg/l	43,82
K	mg/l	3,05	SO ₄	mg/l	626,04
Ca	mg/l	384,25	NO ₃	mg/l	2,43
Mg	mg/l	22,68	HCO ₃	mg/l	544,12
Fe	mg/l	21,67	PO ₄	mg/l	0,58
NH ₄	mg/l	0,69			
TDS	mg/l	1668			
pH		7,29			
TH	° F	103,11			
SiO ₂	mg/l	29,54			

Tabel 5.19. Aangepaste concentraties voor het beïnvloed zoet grondwater (mg/l).

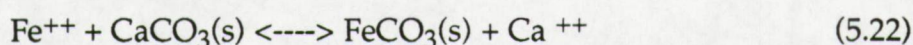
Parameter	F-CaHCO ₃	F-CaMix	F-CaSO ₄
Na*	+ 1,4	- 5,2	- 5,9
K*	+ 15,1	+ 9,2	+ 2,2
Mg*	+ 18,6	+ 17,7	+ 19,8
Ca*	+ 197,8	+ 275,9	+ 383,3
SO ₄ *	+ 146,8	+ 364,3	+ 619,9

De vergelijking met het weinig beïnvloede grondwater kan het best gebeuren aan de hand van het overeenkomstige en het meest voorkomende watertype : F-CaHCO₃. De lichte stijging van vooral het K- en ook het Mg-overschot is hoogst waarschijnlijk het gevolg van kationuitwisseling. Het eerstgenoemde overschot wijst erop dat in dit water nog niet al het K was ingeruild voor Ca, dit is wel grotendeels het geval in het weinig beïnvloede grondwater. Het betreft dus een iets vroegere fase in de kationuitwisseling, waarbij ook in dit water Na reeds nagenoeg volledig is uitgewassen. De totale voor Ca uitgewisselde hoeveelheid Na + K + Mg bedraagt 35,1 mg/l.

Het Ca-overschot en vooral het SO₄-overschot zijn verder toegenomen. Ze zijn het gevolg van kalkoplossing en de oxydatie van ijzersulfiden.

In het F-CaMix en het F-CaSO₄-type zijn Na, K en Mg waarschijnlijk beïnvloed door de vroegere zandwinning, getuige het Na-tekort en het duidelijk lagere K- en Mg-overschot. Vooral kenmerkend voor deze types is echter het zeer hoge SO₄-overschot dat toeneemt van het CaHCO₃-type, over het CaMix-type, naar het CaSO₄-type. In de buurt van de vroegere zandwinning is bijgevolg een intense oxydatie van ijzersulfiden opgetreden, waarschijnlijk ten gevolge van een belangrijke grondwaterstandsverlaging in die periode. Deze oxydatie wordt eveneens weerspiegeld in het Fe-gehalte dat van het CaHCO₃-type naar het CaSO₄-type toeneemt van 2,56 naar 21,67 mg/l.

Naast het hogere SO_4 -overschot vertonen het F-CaMix en het F- CaSO_4 -type tevens een veel groter Ca-overschot dan het CaHCO_3 -type. De toename van het Ca-gehalte gaat evenwel niet gepaard met een gelijkaardige stijging van het HCO_3 -gehalte. Een verdere oplossing van calciëet als gevolg van de stijgende zuurtegraad van het water (bij de oxydatie van ijzersulfiden kan per mol SO_4 een mol H^+ worden gevormd) kan dus niet als verklaring worden ingeroepen. Het blijkt echter dat Ca^* , net als SO_4^* , een geleidelijke toename vertoont van het CaHCO_3 -type naar het CaSO_4 -type. Een mogelijke verklaring dient dus toch te worden gezocht in samenhang met de oxydatie van de ijzersulfiden. Waarschijnlijk kan het stijgende Ca^* -gehalte worden uitgelegd door het feit dat bij het oxydatieproces de stijging van het Fe-gehalte wordt gebufferd door $\text{CaCO}_3(\text{s})$ volgens de reactie :



In deze reactie wordt geen HCO_3 gevormd.

Het oxydatieproces kan worden geïllustreerd door een vereenvoudigde massabalans, waarin het CaHCO_3 -type en het CaSO_4 -type met elkaar worden vergeleken (tabel 5.20).

Tabel 5.20. Massabalans ter vergelijking van het CaHCO_3 -type en het CaSO_4 -type (koncentraties in $\mu\text{mol/l}$)

	SO_4^*	HCO_3	Ca^*	Na^*	K^*	Mg^*	Fe
<u>F- CaHCO_3</u>	1528	9290	4935	61	386	765	46
<u>Reakties</u>							
(5.13)	-	-548	-	-318	-330	+50	-
(5.17)	+4925	-	-	-	-	-	+4925
(5.22)	-	-	+4583	-	-	-	-4583
<u>F- CaSO_4</u>							
berekend	6453	8742	9518	-257	56	815	388
waargenomen	6453	8917	9563	-257	56	815	388

In deze balans fungeert HCO_3 opnieuw als toetsingsterm. De berekende waarde stemt vrij goed overeen met de waargenomen concentratie. Volgens de balans verschilt het CaSO_4 -type water van het CaHCO_3 -type op de volgende vlakken :

- een geringer K-overschot en een Na-tekort, waarschijnlijk als gevolg van processen die zich hebben voorgedaan tijdens de zandwinning. Het Mg-overschot is nagenoeg gelijk. Deze verschillen zijn van miniem belang ;
- een duidelijke verhoging van het SO_4 -overschot. Omdat geen toename van het HCO_3 -gehalte optreedt werd in de balans gekozen voor reactie (5.17) ; reactie (5.16) zorgt immers voor een verlaging van de pH van het water (produktie van H^+) waardoor kalkoplossing en dus vorming van HCO_3^- kan optreden ;
- een duidelijke verhoging van het Ca-overschot, als gevolg van de buffering van de Fe-toename bij het oxydatieproces. Het Fe wordt slechts voor 93% gebufferd, waardoor een verhoogd Fe-gehalte in het grondwater kan worden waargenomen. Uit de balans blijkt dat 48% van het Ca^* -gehalte zijn oorsprong vindt in deze bufferingsreactie.

De gehalten aan NO_3 , NH_4 en PO_4 zijn over het algemeen laag (meestal minder dan 1,0 mg/l), doch kunnen plaatselijk extreme waarden bereiken, waardoor de berekende gemiddelde concentraties worden verhoogd. Dit is het meest uitgesproken voor het NO_3 -gehalte : dit bedraagt ter hoogte van de boringen SB30 en SB34 respectievelijk 80 en 61 mg/l. Dergelijke extreem hoge waarden wijzen op een lokale verontreiniging, waarschijnlijk door overmatig gebruik van meststoffen.

5.5.2.7.2.4. Het zoet-brakke grondwater

Zoet-brak grondwater werd aangetroffen in 8 peilbuizen; in de Avekapellekreek is enkel het Fb- NaHCO_3 -type waargenomen (3 waterstalen), in de IJzerkreek naast dit type (1 waterstaal) eveneens het Fb- CaHCO_3 -type (2 waterstalen) en het Fb- CaMix -type (2 waterstalen). De samenstelling van de verschillende watertypes is gegeven in de tabellen 5.21, 5.22 en 5.23.

Het betreft zeer hard tot uiterst hard grondwater met zoutgehalten variërend tussen 1.000 en 2.000 mg/l. Ca is niet langer steeds het dominerende kation ; naast de kalkoplossing hebben thans nog andere chemische processen een invloed op de kationverdeling. Afhankelijk van het belang van de oxydatie van ijzersulfiden, en

Tabel 5.21. Samenstelling van zoet-brak grondwater van het Fb-CaHCO₃-type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	2	146,98	27,51	0,19	127,52	166,43
K	mg/l	1	16,50	-	-	-	-
Ca	mg/l	2	212,67	50,56	0,24	176,92	248,42
Mg	mg/l	2	30,94	15,92	0,52	19,68	42,20
Fe	mg/l	2	3,82	3,34	0,87	1,46	6,18
NH ₄	mg/l	2	3,45	3,26	0,95	1,14	5,75
Cl	mg/l	2	230,13	26,93	0,12	211,09	249,17
SO ₄	mg/l	2	102,29	9,89	0,10	95,29	109,28
NO ₃	mg/l	2	0,74	0,09	0,12	0,67	0,80
HCO ₃	mg/l	2	829,30	361,89	0,44	573,40	1085,19
PO ₄	mg/l	2	3,24	2,74	0,85	1,30	5,18
TDS	mg/l	2	1645	456,08	0,28	1322	1967
pH		2	7,15	0,16	0,02	7,04	7,26
TH	° F	2	67,00	22,17	0,33	51,32	82,67
SiO ₂	mg/l	2	43,46	13,02	0,30	34,25	52,67

Tabel 5.22. Samenstelling van zoet-brak grondwater van het Fb-CaMix-type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	2	114,48	22,49	0,20	95,58	130,38
K	mg/l	2	18,64	13,17	0,71	9,32	27,95
Ca	mg/l	2	255,77	20,12	0,08	241,54	270,00
Mg	mg/l	2	32,14	14,80	0,46	21,67	42,60
Fe	mg/l	2	6,00	7,37	1,23	0,79	11,21
NH ₄	mg/l	2	2,79	2,56	0,92	0,98	4,60
Cl	mg/l	2	202,37	61,50	0,30	158,88	245,85
SO ₄	mg/l	2	307,26	110,01	0,36	229,47	385,05
NO ₃	mg/l	2	0,70	0,40	0,58	0,41	0,98
HCO ₃	mg/l	2	560,29	42,70	0,08	530,09	590,48
PO ₄	mg/l	2	1,31	1,63	1,24	0,16	2,46
TDS	mg/l	2	1503	113,84	0,08	1422	1583
pH		2	7,26	0,03	0,004	7,24	7,28
TH	° F	2	78,32	13,56	0,17	68,73	87,91
SiO ₂	mg/l	2	47,31	15,53	0,33	36,33	58,29

Tabel 5.23. Samenstelling van zoet-brak grondwater van het Fb-NaHCO₃-type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	4	214,47	48,76	0,23	155,21	250,25
K	mg/l	4	35,16	12,40	0,35	22,37	47,17
Ca	mg/l	4	67,79	23,60	0,35	42,31	86,92
Mg	mg/l	4	38,32	13,32	0,35	26,69	52,85
Fe	mg/l	4	2,32	2,59	1,12	0,20	4,89
NH ₄	mg/l	4	2,76	2,42	0,88	1,44	5,79
Cl	mg/l	4	213,33	29,93	0,14	197,45	251,76
SO ₄	mg/l	4	25,97	21,96	0,85	10,29	53,50
NO ₃	mg/l	4	0,52	0,47	0,90	0,00	0,92
HCO ₃	mg/l	4	645,99	102,70	0,16	518,50	723,64
PO ₄	mg/l	4	5,73	3,29	0,57	2,12	8,49
TDS	mg/l	4	1253	188,90	0,15	1022	1387
pH		4	7,65	0,14	0,02	7,49	7,83
TH	° F	4	33,33	3,13	0,09	31,65	37,17
SiO ₂	mg/l	4	63,86	0,26	0,004	59,00	77,58

het daaruit voortvloeiende SO_4 -gehalte, is HCO_3 al of niet dominerend over de andere anionen.

Het, in vergelijking met het zoete water, toegenomen chloridegehalte (gemiddeld ca. 215 mg/l) wijst op een duidelijk verhoogde zeezoutbijdrage. Het water bevat evenwel nog altijd slechts 1,3 % konnaat zeewater.

De kationuitwisselingsparameter is positief en wordt bovendien groter : + 0,3 tot + 8,4 meq/l. Het belang van de kationuitwisseling als kwaliteitsbepalend proces neemt bijgevolg toe.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.24.

Tabel 5.24. Aangepaste concentraties voor zoet-brak grondwater (mg/l).

Parameter	Fb- CaHCO_3	Fb- CaMix	Fb- NaHCO_3
Na*	+ 20	+ 3	+ 97
K*	+ 12	+ 15	+ 31
Mg*	+ 15	+ 19	+ 24
Ca*	+ 207	+ 251	+ 63
SO_4^*	+ 71	+ 279	- 4

Het Fb- CaHCO_3 -type water vertoont een groter Na-overschot dan het overeenkomstige zoete water ; het K- en Mg-overschot is nagenoeg gelijk. De totale hoeveelheid uitgewisseld Na + K + Mg bedraagt thans 47 mg/l ; het belang van de kationuitwisseling is bijgevolg toegenomen. Het verhoogde Na^* - gehalte wijst, in vergelijking met het zoete water, op een vroegere uitwisselingsfase, waarin nog niet al het Na uit het sediment is uitgespoeld. Het nog aan het sediment geadsorbeerde Na werd uitgewisseld tegen Ca uit het water met als gevolg het Na-overschot in het grondwater. De nog steeds vrij geringe overschotten tonen evenwel aan dat het Fb- CaHCO_3 -type slechts door de eindfase van de kationuitwisseling is beïnvloed. Het Ca-overschot, ontstaan door kalkoplossing, blijft bewaard. Ca is nog steeds het dominante kation.

Het CaMix-type is vergelijkbaar met het overeenkomstige zoete grondwater. Het vertoont als gevolg van kationuitwisseling iets grotere Na, K en Mg-overschotten, en korresponderend hiermee een iets kleiner Ca-overschot.

In het Fb-NaHCO₃-type wordt het Na-overschot belangrijker dan dat van de overige kationen ; in vergelijking met het CaHCO₃-type is het duidelijk toegenomen. In overeenstemming met de affiniteitssequentie van HOFMEISTER, die stelt dat eerst Na wordt uitgewisseld voor Ca, vertoont dit watertype dus de kenmerken van een eerdere kationuitwisselingsfase. De kationuitwisseling is duidelijk meer uitgesproken in vergelijking met de Ca-waters : Na + K + Mg = 152 mg/l. De hiervoor door het sediment opgenomen Ca-hoeveelheid kan worden begroot aan de hand van de reacties (5.13) of (5.14), of volgens :

$$(Ca)_{kat} = \frac{Na^*}{46} + \frac{K^*}{78,2} + \frac{Mg^*}{24,3} \quad (5.42)$$

waarbij (Ca)_{kat} overeenstemt met het uitgewisselde Ca in mmol/l, Na*, K* en Mg* zijn gegeven in mg/l. Op deze wijze wordt voor (Ca)_{kat} een waarde van 3,5 mmol/l of 140 mg/l gevonden.

De kationuitwisseling geeft in het Fb-NaHCO₃-type aanleiding tot een sterke afname van het Ca-overschot. Blijkbaar verloopt in dit watertype de uitwisseling volgens reactie (5.14), waarbij het Ca dat deelneemt aan de kationuitwisseling niet afkomstig is van een overeenkomstige oplossing van CaCO₃. Het optreden van reactie (5.14) wordt bevestigd door het HCO₃-gehalte dat in dit watertype geen hoge waarde bereikt, wat wel het geval zou zijn indien de kationuitwisseling zou verlopen volgens reactie (5.13).

Als gevolg van het hoge Na-overschot en het sterk afgenomen Ca-overschot is thans Na het dominerende kation. De kationuitwisseling heeft in dit watertype, althans op kationbasis, de kalkoplossing als voornaamste kwaliteitsbepalende proces verdrongen.

Het verschil in kationuitwisseling tussen het Fb-CaHCO₃ -type en het Fb-NaHCO₃-type wordt geïllustreerd aan de hand van tabel 5.25. Hierin zijn de uitgewisselde hoeveelheden weergegeven in µmol/l. Tevens wordt in deze tabel een vergelijking

gemaakt met het beïnvloede, zoete water. Hiervoor werd het F-CaHCO_3 -type gekozen.

Tabel 5.25. Uitgewisselde hoeveelheden en relatief belang van de verschillende ionen in de kationuitwisseling (concentraties in $\mu\text{mol/l}$). Vergelijking tussen het F-CaHCO_3^- , Fb-CaHCO_3^- en Fb-NaHCO_3^- -type.

Watertype	Na^*	K^*	Mg^*	Totaal*	$(\text{Ca})_{\text{kat}}$	Na^*/K^*	Na^*/Mg^*	K^*/Mg^*
F-CaHCO_3	61	386	765	1212	989	0,16	0,08	0,50
Fb-CaHCO_3	870	307	617	1794	1205	2,83	1,41	0,50
Fb-NaHCO_3	4217	793	990	6000	3495	5,32	4,26	0,80

Uit de totale uitgewisselde hoeveelheden (totaal*) in de tabel blijkt duidelijk de steeds belangrijker wordende kationuitwisseling naar het Fb-NaHCO_3^- -type toe. Vooral Na wint hierbij in belang, zoals blijkt uit de Na^* -concentratie en de verhoudingen van Na^* met K^* en Mg^* . In vergelijking met de Ca-waters wordt in het NaHCO_3^- -type ook de hoeveelheid uitgewisseld K en Mg groter. Overeenkomstig de affiniteitssequentie van HOFMEISTER neemt in het laatste watertype het belang van K ten opzichte van Mg toe.

In het voorgaande werd de SO_4^* -concentratie nog niet beschouwd. In vergelijking met het zoete water blijkt het SO_4^- -overschot sterk te zijn gedaald. In het Fb-CaHCO_3^- -type bedraagt bijvoorbeeld het SO_4^* -gehalte slechts de helft van dit in het zoete water. Het NaHCO_3^- -type vertoont zelfs een tekort aan SO_4^- (tabel 5.24.). Vanaf het zoet-brakke water doet zich bijgevolg een nieuw proces voor, nl. sulfaatreductie. Organisch materiaal, aanwezig in de sedimenten onder de vorm van veenresten, wordt geoxydeerd waarbij het aanwezige sulfaat dienst doet als elektronenacceptor. Het wordt hierbij geheel of gedeeltelijk gereduceerd volgens de reactievergelijkingen in tabel 5.4.

Voor het eerst kan trouwens S^{--} , een produkt van de sulfaatreductie, in het grondwater worden waargenomen. Gehalten tot 0,07 mg/l worden vastgesteld. Dat bij het optreden van sulfaatreductie geen equivalente sulfidegehalten in oplossing gevonden worden, is niet verwonderlijk. Het gevormde sulfide slaat immers meestal neer met ijzer, met vorming van FeS of FeS_2 .

Gepaard met de sulfaatreductie treedt een toename van het HCO_3^- , NH_4^- en PO_4^- gehalte op zoals blijkt uit tabel 5.26, waarin het gehalte van deze parameters in zoet en zoet-brak water wordt vergeleken.

Tabel 5.26. Vergelijking van de HCO_3^- , NH_4^- en PO_4^- gehalten in zoet en zoet-brak grondwater.

Parameter	Zoet water	Zoet-brak water
HCO_3^-	548,5	670,4
NH_4^-	1,3	2,9
PO_4^-	1,8	3,9

De verschillen zijn evenwel nog weinig uitgesproken en de gehalten van de beide laatste parameters blijven, net als het NO_3^- gehalte, laag.

De processen die de samenstelling van het zoet-brakke grondwater bepalen kunnen worden samengevat met behulp van een massabalans (tabel 5.27), welke de vergelijking maakt tussen gemiddeld zoet water (F- CaHCO_3 -type) en het meest beïnvloede zoet-brakke water (Fb- NaHCO_3 -type).

Tabel 5.27. Massabalans ter vergelijking van het F- CaHCO_3 -type en het Fb- NaHCO_3 -type (koncentraties in $\mu\text{mol/l}$).

	NH_4^-	SO_4^{*}	HCO_3^-	Ca^*	Na^*	K^*	Mg^*	PO_4^-
<u>F- CaHCO_3</u>	80	1528	9290	4935	61	386	765	21
<u>Reakties</u>								
(5.14)	-	-	-	-2504	+4156	+407	+223	-
(5.11)	-	-	-1718	-859	-	-	-	-
(5.27)	+73	-1570	+3140	-	-	-	-	+49
<u>Fb- NaHCO_3</u>								
berekend	153	-42	10712	1572	4217	793	988	60
waargenomen	153	-42	10587	1572	4217	793	988	60

Het met de balans berekende HCO_3 -gehalte stemt vrij goed overeen met het waargenomen gehalte, wat aangeeft dat de voorgestelde massabalans kan overeenstemmen met de werkelijkheid. In de balans verloopt de kationuitwisseling volgens reactie (5.14), zonder oplossing van CaCO_3 . De kationuitwisseling is niet voldoende om de afname van het Ca-overschot te verklaren. Waarschijnlijk zorgt het HCO_3 van de sulfaatreductie voor een overschrijding van het oplosbaarheidsprodukt van calciëet waardoor neerslag van CaCO_3 optreedt (5.11).

De algemene C : N : P-verhouding in organisch materiaal van 106 : 16 : 1 laat niet toe de waargenomen NH_4 - en PO_4 -concentraties te verklaren. Deze concentraties wijzen eerder op een verhouding van 32 : 1,5 : 1.

5.5.2.7.2.5. Brak grondwater

8 waterstalen behorend tot het brakke hoofdtype zijn beschikbaar, 1 in de Avekapellekreek en 7 in de IJzerkreek. In de laatste kreek worden drie watertypes onderscheiden : B- CaHCO_3 (3 waterstalen), B- NaHCO_3 (3 waterstalen) en B- NaCl (1 waterstaal). Het betreft hard tot zeer hard grondwater met zoutgehaltes tussen 1.600 en 3.400 mg/l. Het waterstaal in de Avekapellekreek behoort tot het B-NaMix-type en vertoont een zoutgehalte van 1.500 mg/l. De samenstelling van de verschillende watertypes is gegeven in de tabellen 5.28 tot 5.30.

Op basis van het chloridegehalte kan het aandeel van het oorspronkelijke konnate zeewater worden begroot. Dit bedraagt voor het CaMix-type 2,1 % en voor de overige types respectievelijk 2,2% , 3,5% en 5,9%. De watertypes in de IJzerkreek kunnen bijgevolg worden beschouwd als een reeks, van B- CaHCO_3 naar B- NaCl , met een geleidelijke toename van de zeezoutbijdrage.

Enkel in het eerste watertype van de reeks, CaHCO_3 , is Ca nog het dominerende kation, daar de kationuitwisseling en de natuurlijke zeezoutbijdrage nog niet voldoende belangrijk zijn om het effect van de kalkoplossing te verdringen. Vanaf de overige watertypes is dit wel het geval waardoor Na de overhand neemt over de andere kationen. Cl maakt voor het eerst meer dan 50% van de anionen uit vanaf het B- NaCl -type water. Ook dit is het gevolg van de natuurlijke zeezoutbijdrage. In de andere watertypes is ofwel HCO_3 , ofwel geen van de anionen dominant, afhankelijk van het sulfaatgehalte.

Tabel 5.28. Samenstelling van brak grondwater van het B-CaHCO₃-type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	3	228,25	45,92	0,20	180,22	271,73
K	mg/l	3	21,31	2,66	0,13	18,44	21,81
Ca	mg/l	3	206,44	37,54	0,18	163,96	235,14
Mg	mg/l	3	67,22	16,96	0,25	55,56	86,67
Fe	mg/l	3	8,58	9,03	1,05	0,89	18,53
NH ₄	mg/l	3	8,65	1,45	0,17	7,31	10,18
Cl	mg/l	3	367,16	57,44	0,16	306,85	421,23
SO ₄	mg/l	3	27,58	33,52	1,22	3,50	65,86
NO ₃	mg/l	3	0,38	0,15	0,40	0,22	0,52
HCO ₃	mg/l	3	1010,97	291,62	0,29	814,96	1345,66
PO ₄	mg/l	3	10,83	7,12	0,66	4,13	18,31
TDS	mg/l	3	1959	414,50	0,21	1566	2392
pH		3	7,12	0,22	0,03	6,86	7,26
TH	° F	3	78,06	13,56	0,18	64,43	91,72
SiO ₂	mg/l	3	85,74	22,83	0,27	60,25	104,32

Tabel 5.29. Samenstelling van brak grondwater van het B-NaHCO₃-type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	3	417,38	166,68	0,40	253,25	586,50
K	mg/l	3	32,65	6,99	0,21	24,61	37,27
Ca	mg/l	3	151,01	33,93	0,23	118,70	186,36
Mg	mg/l	3	87,01	40,05	0,46	46,58	126,67
Fe	mg/l	3	4,94	3,84	0,78	2,46	9,36
NH ₄	mg/l	3	12,78	3,54	0,28	8,70	14,94
Cl	mg/l	3	572,96	210,98	0,37	387,02	802,25
SO ₄	mg/l	3	14,13	11,85	0,84	4,53	27,37
NO ₃	mg/l	3	1,11	0,77	0,69	0,24	1,73
HCO ₃	mg/l	3	1175,27	465,08	0,40	701,50	1631,14
PO ₄	mg/l	3	11,23	5,08	0,45	5,18	14,37
TDS	mg/l	3	2481	929,07	0,38	1559	3417
pH		3	7,34	0,28	0,04	7,06	7,62
TH	° F	3	74,43	26,15	0,35	48,43	100,73
SiO ₂	mg/l	3	82,57	28,17	0,34	50,75	104,32

Tabel 5.30 a. Samenstelling van brak grondwater van het B-NaCl-type.

Parameter	Eenheid	Waarde	Parameter	Eenheid	Waarde
Na	mg/l	693,97	Cl	mg/l	966,52
K	mg/l	29,42	SO ₄	mg/l	10,93
Ca	mg/l	84,06	NO ₃	mg/l	0,78
Mg	mg/l	68,37	HCO ₃	mg/l	971,12
Fe	mg/l	3,55	PO ₄	mg/l	14,40
NH ₄	mg/l	6,57			
TDS	mg/l	2850			
pH		7,06			
TH	° F	50,87			
SiO ₂	mg/l	50,23			

Tabel 5.30 b. Samenstelling van brak grondwater van het B-NaMix-type.

Parameter	Eenheid	Waarde	Parameter	Eenheid	Waarde
Na	mg/l	260,54	Cl	mg/l	342,71
K	mg/l	7,80	SO ₄	mg/l	146,94
Ca	mg/l	159,31	NO ₃	mg/l	0,00
Mg	mg/l	15,79	HCO ₃	mg/l	540,46
Fe	mg/l	6,67	PO ₄	mg/l	0,95
NH ₄	mg/l	1,13			
TDS	mg/l	1668			
pH		7,29			
TH	° F	103,11			
SiO ₂	mg/l	29,54			

De kationuitwisselingsparameter is voor alle watertypes positief en varieert tussen +3 en +13 meq/l.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.31.

Tabel 5.31 Aangepaste concentraties voor het brakke grondwater (mg/l)

Parameter	B-CaHCO ₃	B-NaMix	B-NaHCO ₃	B-NaCl
Na*	+ 26	+ 72	+ 102	+ 162
K*	+ 14	+ 1	+ 21	+ 10
Mg*	+ 43	- 7	+ 49	+ 4
Ca*	+ 199	+ 152	+ 140	+ 64
SO ₄	- 24	+ 99	- 66	- 124

Alvorens de resultaten in de tabel te bespreken dient het abnormale gedrag van Mg te worden aangestipt. Sterk wisselende Mg*-concentraties kunnen worden vastgesteld, gaande van een Mg-tekort (NaMix-type) tot een onverwacht hoog Mg-overschot (CaHCO₃- en NaHCO₃-type), plaatselijk zelfs tot 73 mg/l. Volgens de affiniteitssequentie van HOFMEISTER mag slechts een gering Mg-overschot worden waargenomen. Immers, Mg wordt pas in de laatste fase van de kationuitwisseling ingeruild voor Ca, dit nadat Na en K in een vroeger stadium reeds zijn uitgespoeld. Dit is het geval voor het NaCl-type en tevens voor het NaMix-type. Het CaHCO₃-type en zeker het NaHCO₃-type zijn niet in overeenstemming met de affiniteitssequentie ; het Na-overschot van 102 mg/l in dit laatste type toont aan dat Na zeker nog niet volledig was uitgespoeld.

Het hoge Mg-overschot voldoet bijgevolg niet aan de theorie, wat erop kan wijzen dat Mg, als gevolg van andere, meer complexe kwaliteitswijzigende processen thans ook in belangrijke mate door de kleifractie wordt afgegeven in ruil voor Ca. Welke processen hiervan de oorzaak zijn is moeilijk te achterhalen.

Voor het B-CaHCO₃ -type zijn het Na-, K-, en Ca overschot vergelijkbaar met dit voor het overeenkomstige type in het zoet-brakke water. Het betreft eenzelfde vroege fase van de kationuitwisseling en deze is in dezelfde mate opgetreden.

Het sulfaatgehalte is echter duidelijk afgenomen ; er kan thans een SO₄-tekort worden vastgesteld. Niet enkel is het overschot aan sulfaat verminderd ; er wordt

ook een deel van het sulfaat afkomstig van de natuurlijke zeezoutbijdrage gereduceerd. In vergelijking met het zoet-brakke water is de sulfaatreduktie dus belangrijker.

Het B-NaHCO₃-type vertoont, in vergelijking met het overeenkomstige zoet-brakke water, een gelijkaardig Na- en K-overschot, zodat ook voor dit type dezelfde vaststellingen gelden : het water is, in vergelijking met het B-CaHCO₃-type, beïnvloed door een vroegere fase in de kationuitwisseling, met vooral uitwisseling van Na. De kationuitwisseling wordt niet weerspiegeld in een afname van het Ca-overschot, dat een hoge waarde blijft behouden. De kationuitwisseling geschiedt in dit watertype, net als in het CaHCO₃-type, bijgevolg volgens reactie (5.13), waarbij het Ca dat deelneemt aan de uitwisseling afkomstig is van de oplossing van een equivalente hoeveelheid CaCO₃.

De sulfaatreduktie is verder voortgeschreden.

In vergelijking met het B-CaHCO₃-type is het B-NaHCO₃-water meer beïnvloed door kationuitwisseling en is de hoeveelheid gereduceerd SO₄ groter.

Het B-NaCl-type water is gekenmerkt door een nog meer uitgesproken kationuitwisseling, die aanleiding geeft tot een verdere toename van het Na-overschot. Het Mg^{*}-gehalte is in dit watertype zoals mag worden verwacht laag. Het lage Ca-overschot duidt op een kationuitwisseling die, althans voor een belangrijk deel, verloopt volgens reactie (5.14). Waarschijnlijk kan het Ca thans niet meer worden geleverd door de oplossing van CaCO₃ als gevolg van het reeds hoge HCO₃-gehalte in het grondwater door sulfaatreduktie. Het SO₄-tekort is immers beduidend groter, bijna het dubbele van dit van het NaHCO₃-water ; dit watertype vertoont dus de meest intense sulfaatreduktie.

Het B-NaMix-type is een abnormaal watertype. Het vertoont een duidelijk geringere sulfaatreduktie waardoor nog een belangrijk SO₄-overschot kan worden vastgesteld. Dit overschot is bovendien hoger dan dit van het bovenliggende zoete water op die plaats. Het hoge SO₄-overschot maakt dat geen der anionen meer dan 50% uitmaakt van de totale anionconcentratie.

Op de diepte waarop de brakke waters worden aangetroffen is de sulfaatreductie nagenoeg overal in een gevorderd stadium. Het B-NaMix- watertype mag dan ook als uitzonderlijk worden beschouwd.

Uit de aangepaste concentraties kan worden besloten dat de aangetroffen watertypes, met uitzondering van het NaMix-type, dienen te worden gezien als een evolutiereeks waarbij de bijdrage van kationuitwisseling en sulfaatreductie als kwaliteitsbepalende processen geleidelijk toeneemt van het B-CaHCO₃-type naar het B-NaCl-type. Dit is voor de kationuitwisseling geïllustreerd in tabel 5.32.

Tabel 5.32. Uitgewisselde hoeveelheden en relatief belang van de verschillende ionen in de kationuitwisseling (concentraties in $\mu\text{mol/l}$). Vergelijking tussen het B-CaHCO₃ -, het B-NaHCO₃ - en het B-NaCl -type.

Watertype	Na*	K*	Mg*	Totaal*	(Ca) _{kat}	Na*/K*	Na*/Mg*	K*/Mg*
B-CaHCO ₃	1130	358	1770	3258	2514	3,16	0,64	0,20
B-NaHCO ₃	4435	537	2016	6988	7019	8,26	2,20	0,27
B-NaCl	7043	256	165	7464	10.833	27,51	42,68	1,55

Door het onregelmatige en abnormale Mg*-gehalte hebben de verhoudingen met Mg* in de tabel slechts een geringe betekenis. Toch kan uit de tabel duidelijk worden afgeleid dat de totale hoeveelheid uitgewisselde ionen toeneemt naar het B-NaCl-type water toe en dat deze toename uitsluitend te wijten is aan Na. De uitgewisselde hoeveelheid K blijft immers nagenoeg konstant en is, net als deze van Mg, het laagst in dit laatste watertype. Vandaar ook de hoge Na*/K* en Na*/Mg*- verhoudingen in dit water.

De brakke watertypes kunnen bijgevolg uit elkaar worden afgeleid en komen mogelijks boven elkaar voor in de brakwaterzone.

Uit de vergelijking van tabel 5.32 met tabel 5.25 blijkt dat, ten opzichte van de overeenkomstige zoet-brakke waters, het aandeel van Na in de kationuitwisseling is gestegen. Dit blijkt het best uit de Na*/K*-verhouding die in de brakke waters steeds hoger is. Dit is volgens de verwachtingen, daar de brakke waters een vroegere fase in de verzoeting vertegenwoordigen dan de zoet-brakke waters, en dus tevens een vroegere fase in de kationuitwisseling.

Het B-CaHCO₃-type kan slechts voorkomen onder het overeenkomstige zoet-brakke type; de overige B-type waters zowel onder het Fb-CaHCO₃ als het Fb-NaHCO₃-type.

Dat de verschillende waters uit elkaar af te leiden zijn betekent evenwel niet dat ze alle aanwezig dienen te zijn.

De concentraties van de chemische parameters die nauw samenhangen met de sulfaatreductie zijn uiteraard toegenomen, zoals blijkt uit tabel 5.33. De concentraties aan HCO_3 , NH_4 en PO_4 zijn thans beduidend hoger dan in de zoetere waters.

Tabel 5.33. Vergelijking van de HCO_3 , NH_4 , PO_4 - en S-gehalten (mg/l) in zoet-brak en brak grondwater.

Parameter	zoet-brak water	brak water
HCO_3	670,4	1052,3
NH_4	2,9	9,7
PO_4	3,9	12,0
S	0,1	0,5

Het hoge HCO_3 -gehalte is voor het B- CaHCO_3 - en het B- NaHCO_3 -type grondwater niet enkel te wijten aan sulfaatreductie, doch voor een deel ook aan kation-uitwisseling, die, zoals hoger aangestipt, gepaard gaat met oplossing van CaCO_3 .

5.5.2.7.2.6. Brak-zout grondwater

5.5.2.7.2.6.1. Matig brak-zout grondwater (TDS < 6.400 mg/l)

De samenstelling van matig brak-zout grondwater kon worden afgeleid uit 8 waterstalen, 6 uit de Avekapellekreek en 2 uit de IJzerkreek. Ze behoren alle tot het Bs- NaCl -type water, zijn hard tot uiterst hard en vertonen een zoutgehalte variërend tussen 2.700 en 6.000 mg/l. Uit het gemiddelde chloridegehalte kan worden opgemaakt dat het water is samengesteld uit ca.11% konnaat zeewater en 89% zoet water. De samenstelling van het grondwater is gegeven in tabel 5.34.

De natuurlijke zeezoutbijdrage verbergt thans de opgetreden kwaliteitswijzigende processen. Vandaar dat vanaf het brak-zoute water nog enkel het NaCl -type wordt aangetroffen.

Tabel 5.34. Samenstelling van matig brak-zout grondwater van het Bs-NaCl-type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	8	1212,93	288,38	0,24	795,24	1638,70
K	mg/l	8	75,09	28,58	0,39	26,64	105,05
Ca	mg/l	8	94,62	58,38	0,62	29,18	191,01
Mg	mg/l	8	100,12	74,73	0,74	34,94	280,34
Fe	mg/l	8	1,85	2,08	1,12	0,00	5,11
NH ₄	mg/l	8	18,21	24,37	1,34	3,00	75,31
Cl	mg/l	8	1770,21	407,38	0,23	1028,12	2307,00
SO ₄	mg/l	8	68,25	104,14	1,53	3,10	240,79
NO ₃	mg/l	8	1,35	1,16	0,86	0,24	3,30
HCO ₃	mg/l	8	1277,57	296,44	0,23	714,92	1721,42
PO ₄	mg/l	8	9,97	4,44	0,45	6,52	17,14
TDS	mg/l	8	4676	1064,44	0,23	2704	5912
pH		8	7,53	0,34	0,05	7,08	8,05
TH	° F	8	77,94	42,01	0,54	21,23	160,83
SiO ₂	mg/l	8	59,51	9,98	0,17	46,61	75,53

De kationuitwisselingsparameter is uitgesproken positief : +6,3 tot +22,0 meq/l. Het grondwater heeft dus een intense kationuitwisseling ondergaan.

De aangepaste concentraties zijn opgenomen in tabel 5.35.

Tabel 5.35. Aangepaste concentraties voor matig brak-zout grondwater (mg/l).

Na*	+	239	Ca*	+	57
K*	+	30	SO ₄ *	-	180
Mg*	-	12			

In vergelijking tot het brakke grondwater vormt het matig brak-zoute water een verdere stap terug in de tijd. Het water is immers gekenmerkt door een nog grotere hoeveelheid uitgewisseld Na + K, nl. 269 mg/l ; Mg vertoont thans evenwel een tekort. De uitwisseling geeft tevens opnieuw aanleiding tot een laag Ca-overschot ; ze verloopt bijgevolg hoofdzakelijk volgens reactie (5.14). Het HCO₃-gehalte in het grondwater is als gevolg van sulfaatreductie te hoog om nog oplossing van CaCO₃ toe te laten. Dit feit is kenmerkend vanaf het B-NaCl-type water en geldt bijgevolg voor alle nog volgende, meer mariene watertypes.

Gezien de belangrijke uitgewisselde hoeveelheid mag worden gesteld dat dit water dateert van een vroege fase in de verzoeting, waarbij de kationuitwisseling zijn maximale omvang kende. Plaatselijk kan zelfs een Ca-tekort worden vastgesteld.

Opmerkelijk is het Mg-tekort dat plaatselijk zelfs kan oplopen tot 56 mg/l. De hoogste Mg-tekorten stemmen steeds overeen met de hoogste Na-overschotten, wat erop kan wijzen dat het Mg-tekort in verband staat met het kationuitwisselingsproces. Blijkbaar wordt niet enkel Ca, doch ook Mg ingeruild voor Na en K. Alhoewel niet steeds even duidelijk blijken de belangrijkste Mg-tekorten overeen te stemmen met de laagste Ca-overschotten. Mogelijkerwijze wordt bij het bereiken van lage Ca-gehalten in het grondwater niet langer Ca uitgewisseld tegen Na en K, doch eerder Mg. Ca kan in dit watertype immers niet meer worden geleverd door oplossing van CaCO₃ gezien het reeds zeer hoge HCO₃-gehalte in het grondwater.

Een andere mogelijke verklaring van het Mg-tekort is het feit dat de kationuitwisselingscapaciteit (CEC) van kleimineralen wordt verhoogd in reducerende

omstandigheden door het in oplossing gaan van ijzeroxyde-huidjes (goethiet en hematiet) die zich op de kleimineralen hebben vastgezet. Door het verdwijnen van deze huidjes worden geblokkeerde uitwisselingsplaatsen vrijgemaakt, die vervolgens in hoofdzaak door Mg worden bezet (DREVER, 1971 ; SHOLKOVITZ, 1973). In normale omstandigheden gaan deze ijzeroxyde-huidjes niet in oplossing ; in reducerende omstandigheden, zoals in de kreeksedimenten, daarentegen is dit wel het geval, waarna het vrijgekomen Fe neerslaat met het bij sulfaatreductie gevormde S als FeS of FeS₂.

CARROL (1958) heeft aangetoond dat dergelijke ijzeroxyde-huidjes veelvuldig voorkomen op kleimineralen.

De reductie van sulfaat is in het matig brak-zoute water verder toegenomen, wat zich uit in een nog groter SO₄-tekort. De toename van de met de sulfaatreductie verbonden parameters is gegeven in tabel 5.36.

Tabel 5.36 Vergelijking van de HCO₃, NH₄, PO₄- en S-gehalten (mg/l) in brak en matig brak-zout grondwater

Parameter	brak water	brak-zout water
HCO ₃	1.052,3	1.277,6
NH ₄	9,7	18,2
PO ₄	12,0	10,0
S	0,5	2,1

5.5.2.7.2.6.2 Sterk brak-zout grondwater (TDS > 6.400 mg/l)

De gemiddelde samenstelling van dit water, gegeven in tabel 5.37, is gesteund op 6 waterstalen, gelijk verdeeld over de IJzerkreek en de Avekapellekreek. Het betreft steeds uiterst hard water van het Bs-NaCl-type, met een zoutgehalte variërend tussen 7.000 en 18.000 mg/l. Het gemiddelde chloridegehalte wijst op een menging van ca. 36% konnaat zeewater met ca. 54% zoet infiltratiewater.

De kationuitwisselingsparameter is meestal uitgesproken positief : + 9,8 tot + 26,9 meq/l en vergelijkbaar met deze van het matig brak-zoute water. Eén waterstaal

Tabel 5.37. Samenstelling van sterk brak-zout grondwater van het Bs-NaCl-type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	6	3339,87	1016,67	0,30	1885,62	4375,30
K	mg/l	6	117,68	37,88	0,32	68,57	175,97
Ca	mg/l	6	239,17	128,97	0,54	119,87	406,30
Mg	mg/l	6	458,73	212,64	0,46	231,31	828,97
Fe	mg/l	6	7,10	6,44	0,91	0,32	17,10
NH ₄	mg/l	6	13,78	6,70	0,49	5,10	24,94
Cl	mg/l	6	5811,62	2102,38	0,36	3105,20	8982,30
SO ₄	mg/l	6	106,61	182,65	1,71	6,38	466,14
NO ₃	mg/l	6	3,26	1,38	0,42	1,82	5,02
HCO ₃	mg/l	6	2371,78	939,08	0,40	1512,19	3697,82
PO ₄	mg/l	6	13,11	10,08	0,77	4,31	31,96
TDS	mg/l	6	12484	3866,89	0,31	7104	17850
pH		6	7,25	0,34	0,05	6,82	7,69
TH	° F	6	242,46	97,67	0,40	134,99	381,54
SiO ₂	mg/l	6	70,28	21,93	0,31	43,21	105,45

vertoont evenwel een geringe kationuitwisseling, de uitwisselingsparameter bedraagt voor dit waterstaal slechts +1,1 meq/l.

Zoals echter zal blijken uit de aangepaste concentraties is thans de uitwisselingsparameter niet langer geschikt voor het kwantificeren van de mate waarin kationuitwisseling is opgetreden en dit als gevolg van het opnieuw abnormale gedrag van Mg.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.38. Wegens het sterk uiteenlopend karakter van de kationuitwisseling werd het nuttig geacht de afzonderlijke analyseresultaten in twee groepen te verdelen, een groep met een (Na + K)-overschot enerzijds (4 waterstalen) en een groep met een (Na + K)-tekort anderzijds (2 waterstalen).

Tabel 5.38. Aangepaste concentraties voor sterk brak-zout grondwater (mg/l)

Parameter	(Na + K)- overschot	(Na + K)- tekort
Na*	+ 261	- 111
K*	+ 14	- 19
Mg*	- 3	+ 129
Ca*	+ 63	+ 120
SO ₄ *	- 577	- 1119

Uit de tabel kan worden vastgesteld dat de groep met een (Na + K)-overschot de kenmerken van het matig brak-zoute grondwater vertoont. Het overschot aan Na is iets hoger met zelfs een maximum van +362 mg/l, duidend op een nog meer uitgesproken kationuitwisseling. Het water korrespondeert waarschijnlijk met één van de vroegste fasen van de verzoeting. Het hoge Na-overschot stemt overeen met een laag Ca-overschot en in de meeste gevallen ook met een Mg-tekort, wat erop wijst dat dit kation eveneens tegen Na + K is ingeruild. Het Mg-tekort kan oplopen tot 23 mg/l en is het gevolg van dezelfde processen die het Mg-tekort in het matig brak-zoute water veroorzaken.

De groep met een (Na + K)-tekort wijst op een omgekeerde kationuitwisseling. Dit betekent dat de verstoring van het evenwicht tussen sediment en grondwater, welke

de oorzaak is van het optreden van kationuitwisseling, niet langer te wijten is aan een verdringing van zout door zoet water, doch door een verdringing van zoet door zout water. In dit geval geeft het sediment geadsorbeerde Ca-ionen af aan het water, in ruil voor Na + K + Mg. Aldus ontstaat grondwater met een overschot aan Ca en een tekort aan Na + K + Mg. De oorzaak van de omgekeerde kationuitwisseling wordt besproken bij het zoute grondwater (S-type), waar dit verschijnsel zich veelvuldig voordoet.

Het tekort aan Na en K in deze groep korrespondeert met een opnieuw stijgend Ca-overschot, dat plaatselijk terug is opgelopen tot 256 mg/l (in de overige waters gaf kationuitwisseling juist aanleiding tot een afname van het Ca-overschot). Meestal wordt het Na + K-tekort niet volledig gecompenseerd door de Ca-toename. Waarschijnlijk slaat een deel van het Ca neer onder de vorm van CaCO_3 wegens de zeer hoge HCO_3 -gehalten in het grondwater als gevolg van sulfaatreductie.

Bovendien is er in tegenstelling met de verwachtingen het zeer hoge Mg-overschot in dit water. Een maximaal overschot van liefst 227 mg/l is vastgesteld. Het Mg-overschot lijkt er opnieuw op te wijzen dat dit kation eveneens wordt ingeruild voor Na + K. Een dergelijk gedrag van Mg is mogelijk indien het grondwater waarin kationuitwisseling optreedt reeds veel calcium bevat. In dergelijke omstandigheden wordt niet langer Ca, doch Mg uitgewisseld tegen Na en K (APPELO, 1986).

Het tegenstrijdige gedrag van Na + K enerzijds en Mg anderzijds maakt dat de kationuitwisselingsparameter niet langer geschikt is voor de kwantificering van de ionenuitwisseling. Immers, een Na + K -tekort zal, voor een deel althans, worden gecompenseerd door een Mg-overschot (of omgekeerd) met als gevolg een kleine Na + K + Mg -waarde. Hieruit wordt besloten dat weinig of geen kationuitwisseling is opgetreden, alhoewel deze nochtans zeer intens kan geweest zijn. Bovendien kan de kationuitwisseling met de uitwisselingsparameter foutief worden geïnterpreteerd. Een voorbeeld hiervan is het waterstaal SB35 F1, dat gekenmerkt is door een kationuitwisselingsparameter van + 9,8 meq/l. Volgens deze parameter gaat het om grondwater dat is ontstaan door de verdringing van zout door zoet water. Bij nader inzicht is er evenwel een duidelijk Na + K -tekort, in het totaal 209 mg/l. Dit wijst ontegensprekelijk op een verdringing van zoet door zout water. De positieve kationuitwisselingsparameter blijkt enkel het gevolg te zijn van een Mg-overschot van 227 mg/l.

Tabel 5.39. Samenstelling van zout grondwater van het S-NaCl+ -type.

Parameter	Eenheid	Waarde	Parameter	Eenheid	Waarde
Na	mg/l	5753,72	Cl	mg/l	10400,50
K	mg/l	207,28	SO ₄	mg/l	15,85
Ca	mg/l	172,29	NO ₃	mg/l	5,67
Mg	mg/l	867,59	HCO ₃	mg/l	3967,44
Fe	mg/l	5,26	PO ₄	mg/l	4,04
NH ₄	mg/l	7,51			
TDS	mg/l	21408			
pH		6,83			
TH	° F	390,20			
SiO ₂	mg/l	71,34			

De sulfaatreduktie zorgt in beide groepen voor een uiterst hoog SO_4 -tekort, tot 1.250 mg/l, waardoor SO_4 dan ook vaak nagenoeg volledig uit het water verdwenen is. Concentraties van minder dan 5 mg/l zijn geen uitzondering, daar waar normaal ca. 800 mg/l SO_4 in het grondwater aanwezig is als gevolg van de natuurlijke zeezoutbijdrage. Het grondwater is bijgevolg gekenmerkt door een zeer hoog HCO_3 -gehalte, gemiddeld 2.370 mg/l, met een maximum van 3.000 mg/l. De NH_4 - en PO_4 -gehalten zijn vergelijkbaar met deze van het matig brak-zoute grondwater ; de S^{--} -concentratie daarentegen is geringer. Waarschijnlijk zijn hier de omstandigheden voor neerslag met ijzer gunstiger dan in het matig brak-zoute water.

5.5.2.7.2.7. Zout grondwater

11 waterstalen zijn beschikbaar, waarvan slechts één in de IJzercreek. Zout water is dan ook nagenoeg niet aanwezig in deze kreek. De waterstalen behoren alle tot het S-NaCl-type en betreffen alle uiterst hard water. Wegens het sterk uiteenlopend karakter van de kationuitwisseling dient een verdere onderverdeling te worden doorgevoerd.

5.5.2.7.2.7.1. Het S-NaCl+ -type grondwater

1 waterstaal, waarvan de samenstelling is gegeven in tabel 5.39, is van het S-NaCl+ -type; het vertoont een duidelijk positieve kationuitwisselingsparameter : + 15,6 meq/l. Het totale zoutgehalte bedraagt 21.500 mg/l ; het chloridegehalte wijst op een menging van 65% konnaat zeewater en 35% zoet water. Voor het eerst is het aandeel van het konnate water groter dan dit van het infiltratiewater.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.40.

Tabel 5.40. Aangepaste concentraties voor zout water, S-NaCl+ -type (mg/l)

Na*	+	33	Ca*	-	45
K*	-	1	SO ₄ *	-	1.440
Mg*	+	171			

Het Na-overschot wijst op een verdringing van zout door zoet water. De uitgewisselde hoeveelheid is echter relatief gering. Het hoge Mg-overschot wijst, in

Tabel 5.41. Samenstelling van zout grondwater van het S-NaClø -type.

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	9	7217,54	851,73	0,12	6252,65	8692,00
K	mg/l	9	257,61	53,41	0,21	157,84	329,68
Ca	mg/l	9	412,50	70,55	0,17	319,40	555,83
Mg	mg/l	9	974,63	129,19	0,13	805,45	1184,17
Fe	mg/l	9	7,86	7,87	1,00	0,78	33,13
NH ₄	mg/l	9	24,72	14,78	0,60	6,33	46,42
Cl	mg/l	9	13450,52	1720,81	0,13	10225,56	16370,00
SO ₄	mg/l	9	736,35	580,64	0,79	17,49	1526,01
NO ₃	mg/l	9	2,39	2,90	1,21	0,26	8,56
HCO ₃	mg/l	9	2226,95	670,92	0,30	1326,14	3154,92
PO ₄	mg/l	9	11,55	15,10	1,31	1,60	37,95
TDS	mg/l	9	25322	2855,76	0,11	19995	30040
pH		9	7,35	0,08	0,01	7,03	7,52
TH	° F	9	505,72	61,11	0,12	434,26	602,49
SiO ₂	mg/l	9	52,80	7,71	0,15	42,87	64,28

overeenstemming met het gedrag van deze parameter in het sterk brak-zoute grondwater op een verdringing van zoet door zout water.

Gelet op deze gemengde kenmerken betreft het mogelijkerwijze grondwater dat is ontstaan door menging van verzoetings- en verziltingswater, waarbij het resultaat van beide processen in mindere of meerdere mate wordt opgeheven. De vrij hoge kationuitwisselingsfaktor is dan ook het gevolg van het zeer hoge Mg-overschot. Het optredende Ca-tekort is moeilijk te verklaren.

De sulfaatreduktie geeft aanleiding tot een zeer groot SO_4 -tekort ; het HCO_3 -gehalte is dan ook opgelopen tot nagenoeg 4.000 mg/l.

5.5.2.7.2.7.2. Het S-NaClø -type grondwater

9 waterstalen zijn van het S-NaClø -type en dus schijnbaar in evenwicht met het sediment. De kationuitwisselingsparameter bedraagt gemiddeld - 2,0 meq/l. Het totale zoutgehalte varieert tussen 22.000 en 30.000 mg/l; het gemiddelde chloridegehalte duidt op een bijdrage van konnaat zeewater van 83 %. De samenstelling van dit watertype is gegeven in tabel 5.41.

De aangepaste concentraties zijn opgenomen in tabel 5.42. Deze vermeldt de gemiddelde concentraties, alsook deze van de waterstalen met een Na-overschot enerzijds (2 waterstalen) en een Na-tekort anderzijds (7 waterstalen).

Tabel 5.42. Aangepaste concentraties voor zout water, S-NaClø -type (mg/l)

Parameter	Gemiddeld	Na-overschot	Na-tekort
Na*	- 189	+ 15	- 247
K*	- 15	- 14	- 16
Mg*	+ 79	+ 66	+ 82
Ca*	+ 161	+ 98	+ 162
SO_4^*	- 1176	- 1300	- 1141

Alhoewel de kationuitwisselingscode dit aangeeft is het grondwater niet in evenwicht met het sediment ; het vertoont immers duidelijk de kenmerken van een omgekeerde kationuitwisseling, die ook reeds werd vastgesteld bij de sterk brak-

zoute grondwaters. Hierbij vertonen Na en K gemiddeld een tekort, Ca en Mg een overschot. Het Na-tekort is echter thans belangrijker en stemt, daar het in hoofdzaak wordt ingeruild tegen Ca, tevens overeen met een groter Ca-overschot. Het grondwater van dit type is bijgevolg ontstaan door de verdringing van zoet(er) door zout(er) water. Een deel van het Ca, afgestaan door het sediment, slaat waarschijnlijk neer als CaCO_3 .

Dat het sediment volgens de kationuitwisselingscode schijnbaar in evenwicht is met het sediment is een gevolg van het feit dat de uitwisselingsparameter, die vaak vrij hoog is, binnen de foutenmarge van $1/2 \sqrt{\text{Cl}}$, die is voorzien in de klassifikatie van STUYFZAND voor monsternamen- en analysefouten, ligt. Dit is, zoals in enkele voorgaande waters, mede te wijten aan het tegenstrijdige gedrag van Na en K enerzijds en Mg anderzijds. De fout op de ionenbalans, als deze al in negatieve zin overhelt, is evenwel in de meeste gevallen niet voldoende om het Na-tekort te verklaren. Een omgekeerde kationuitwisseling is dus wel degelijk opgetreden.

Nadere studie van de individuele waterstalen laat toe twee groepen te onderscheiden : een groep met nog een Na-overschot en een groep met een Na-tekort.

De laatste groep vertoont de gemiddelde kenmerken, zij het meer uitgesproken. Een maximaal Na-tekort en Ca- en Mg-overschot van resp. 400 mg/l, 288 mg/l en 120 mg/l is vastgesteld.

De eerste groep vertoont nog een gering Na-overschot. K^+ daarentegen is negatief en het Ca- en Mg-overschot zijn reeds vrij belangrijk. Deze gemengde kenmerken tonen aan dat het S-NaCl \ominus -type grondwater van deze groep, net als het S-NaCl $+$ -type, waarschijnlijk het resultaat is van de menging van grondwater met normale kationuitwisseling enerzijds (Na + K - overschot) en grondwater met een omgekeerde kationuitwisseling anderzijds (Na + K -tekort).

Het voorkomen van zout grondwater met verziltingsverschijnselen in de Avekapellekreek zou kunnen wijzen op het in oorsprong voorkomen van zoeter water in de kreek enerzijds of op een oprijzing van het zoute grondwater, waarbij reeds vrij zoet water door het zoute grondwater wordt verdrongen anderzijds.

De aanwezigheid van in oorsprong zoeter water in de kreken is aannemelijk daar deze bijvoorbeeld tijdens de veenvorming, in het Subborea, zorgden voor de afwatering van het kustgebied, dat in hoofdzaak zoete omstandigheden kende. De kreken fungeerden bij vloed nog steeds als getijdegeulen, die zorgden voor het binnenstromen van de zee in het kustgebied, doch door de menging met het zoete, oppervlakkig afvloeiende water mag een brakke samenstelling in deze getijdegeulen niet worden uitgesloten. In de Subatlantische periode werd dit brakke water dan door zeewater verdrongen, met een omgekeerde kationuitwisseling tot gevolg.

Een oprijzing van het zoute grondwater kan zijn opgetreden als gevolg van een meer intense drainage van de Avekapellekreek, eventueel door een drastische verlaging van het waterpeil in de afwateringsgrachten, waardoor het grondwaterpeil in de kreek werd verlaagd. Dit lijkt evenwel weinig waarschijnlijk.

De resultaten gevonden met het mathematisch model (par. 6.5.) tonen dat een verlaging van het grondwaterpeil in de kreken slechts een verwaarloosbare opwaartse beweging van het grensvlak tussen zoet en zout water tot gevolg heeft. Enkel in de onmiddellijke omgeving van de afwateringskanalen en aan de randen van de kreken kan een dergelijke beweging zich voordoen.

De eerste situatie is de meest waarschijnlijke om het voorkomen van het S-NaCl \emptyset -type te verklaren. De waterstalen met gemengde kenmerken zijn dan het gevolg van het feit dat zoet infiltratiewater het zoute water met verziltingskenmerken begint te verdringen.

De tabel 5.43 wijst eveneens op een opnieuw uitgesproken sulfaatreductie, met overeenstemmende hoge gehalten aan HCO $_3$, NH $_4$ en PO $_4$.

Tabel 5.43. Vergelijking van de HCO $_3$, NH $_4$ en PO $_4$ - gehalten (mg/l) in brak-zout en zout grondwater (S-NaCl \emptyset -type).

Parameter	brak-zout water	zout water
HCO $_3$	1.825,0	2.300,0
NH $_4$	11,8	24,7
PO $_4$	11,3	11,6

Tabel 5.44. Samenstelling van zout grondwater van het S-NaCl- -type.

Parameter	Eenheid	Waarde	Parameter	Eenheid	Waarde
Na	mg/l	7324,40	Cl	mg/l	14263,50
K	mg/l	239,42	SO ₄	mg/l	1226,80
Ca	mg/l	512,36	NO ₃	mg/l	3,02
Mg	mg/l	1060,69	HCO ₃	mg/l	2069,12
Fe	mg/l	1,97	PO ₄	mg/l	4,99
NH ₄	mg/l	7,51			
TDS	mg/l	26714			
pH		7,15			
TH	° F	573,42			
SiO ₂	mg/l	46,00			

5.5.2.7.2.7.3. Het S-NaCl- -type grondwater

Eén waterstaal vertegenwoordigt het S-NaCl- -type grondwater met een negatieve kationuitwisselingsparameter van -15 meq/l. De samenstelling is gegeven in tabel 5.44. Het chloridegehalte stemt overeen met een aandeel van konnaat zeewater van 88%.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.45.

Tabel 5.45. Aangepaste concentraties voor zout grondwater, S-NaCl- -type (mg/l)

Na*	-	521	Ca*	+	213
K*	-	46	SO ₄ *	-	770
Mg*	+	105			

De omgekeerde kationuitwisseling is beduidend ; het totale Na + K -tekort bedraagt immers 567 mg/l. Dit tekort wordt weerspiegeld in het hoge Ca-overschot van 213 mg/l, doch niet volledig. Waarschijnlijk slaat een deel van het uitgewisselde Ca neer als CaCO₃, omdat het oplosbaarheidsprodukt ervan is overschreden als gevolg van het hoge Ca -gehalte door kationuitwisseling enerzijds en het hoge HCO₃-gehalte als gevolg van sulfaatreductie anderzijds.

5.5.2.7.2.8. Speciale watertypes

5.5.2.7.2.8.1. Sterk beïnvloed, diep, zoet grondwater

In de onmiddellijke omgeving van de vroegere zandwinning te Nieuwkapelle is in één peilbuis zoet, hard grondwater van het F-NaHCO₃-type met een zoutgehalte van 1.200 mg/l waargenomen. De samenstelling ervan is gegeven in tabel 5.46.

In tegenstelling met de normale zoete watertypes, besproken in paragraaf 5.5.2.7.2.3. is niet Ca het dominerende kation, doch Na. Dit laat reeds vermoeden dat de kalk-oplossing, in normaal zoet water het belangrijkste kwaliteitsbepalende proces, ondergeschikt is aan de kationuitwisseling.

Tabel 5.46. Samenstelling van sterk beïnvloed, diep, zoet grondwater van het F-NaHCO₃-type.

Parameter	Eenheid	Waarde	Parameter	Eenheid	Waarde
Na	mg/l	193,73	Cl	mg/l	89,06
K	mg/l	39,67	SO ₄	mg/l	2,68
Ca	mg/l	40,36	NO ₃	mg/l	0,62
Mg	mg/l	40,74	HCO ₃	mg/l	761,28
Fe	mg/l	0,78	PO ₄	mg/l	1,72
NH ₄	mg/l	1,28			
TDS	mg/l	1172			
pH		7,60			
TH	° F	25,39			
SiO ₂	mg/l	64,99			

De kationuitwisselingsparameter van +10,1 meq/l is veel hoger dan voor de overige zoete waters en is eerder vergelijkbaar met deze van de brakke waters. De abnormaal doorgedreven kationuitwisseling wordt eveneens weerspiegeld in de aangepaste concentraties uit tabel 5.47.

Tabel 5.47. Aangepaste concentraties (mg/l) voor sterk beïnvloed, diep, zoet grondwater.

Na*	+	145	Ca*	+	38
K*	+	38	SO ₄ *	-	10
Mg*	+	35			

De tabel toont een abnormaal watertype dat, op basis van de kationuitwisseling, in de normale evolutiereeks vergelijkbaar is met het B-NaHCO₃- of het B-NaCl-type water. Het is gekenmerkt door een hoog overschot aan Na + K + Mg, in totaal 218 mg/l, korresponderend met een gering Ca-overschot.

Daar het watertype op een grotere diepte is aangetroffen dan de andere zoete waters vertoont het reeds een uitgesproken sulfaatreduktie. Het sulfaatoverschot, typisch voor de zoete waters, is vervangen door een sulfaattekort vergelijkbaar met dat van de zoet-brakke en brakke watertypes. De sulfaatreduktie is evenwel niet merkbaar in de NH₄- en PO₄-concentraties, zoals blijkt uit tabel 5.48. Het HCO₃-gehalte is wel hoger, doch dit kan ook beïnvloed zijn door de kationuitwisseling.

Tabel 5.48. Vergelijking van de HCO₃, NH₄ en PO₄ - gehalten (mg/l) in normaal en abnormaal zoet grondwater

Parameter	normaal zoet water	abnormaal zoet water
HCO ₃	548,5	761,3
NH ₄	1,3	1,3
PO ₄	1,8	1,7

Tabel 5.49. Samenstelling van brak grondwater van het B-NaMix-type met abnormaal sterke kationuitwisseling.

Parameter	Eenheid	Waarde	Parameter	Eenheid	Waarde
Na	mg/l	757,96	Cl	mg/l	432,90
K	mg/l	87,50	SO ₄	mg/l	966,90
Ca	mg/l	79,40	NO ₃	mg/l	2,13
Mg	mg/l	194,83	HCO ₃	mg/l	1303,57
Fe	mg/l	0,06	PO ₄	mg/l	7,20
NH ₄	mg/l	5,38			
TDS	mg/l	3839			
pH		7,42			
TH	° F	101,41			
SiO ₂	mg/l	55,01			

Mogelijkerwijze is dit abnormale watertype het gevolg van processen opgetreden ten tijde van de zandwinning.

5.5.2.7.2.8.2. Brak grondwater, met een abnormaal sterke kationuitwisseling

In de Avekapellekreek, ten oosten van de Aa-Vaart, werd, in één peilbuis, uiterst hard grondwater van het B-NaMix-type aangetroffen met een zoutgehalte van 3840 mg/l. Het verschilt van het normale B-NaMix-type, en ook van de andere brakke watertypes, door de zeer intense kationuitwisseling en het uitermate hoge SO_4 -overschot. Dat SO_4 geen 50% uitmaakt van de anionen is enkel te wijten aan het eveneens zeer hoge HCO_3 -gehalte. De samenstelling van dit abnormale watertype is gegeven in tabel 5.49.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.50.

Tabel 5.50. Aangepaste concentraties (mg/l) voor brak grondwater met zeer intense kationuitwisseling

Na*	+	520	Ca*	+	70
K*	+	79	SO ₄ *	+	906
Mg*	+	166			

Een dergelijk intense kationuitwisseling is bij de normale watertypes niet vastgesteld. Het totale Na + K + Mg - overschot bedraagt liefst 765 mg/l. Waarschijnlijk is de zeer uitgesproken kationuitwisseling het gevolg van de grotere dikte van de bedekkende kleilaag op die plaats.

Het uiterst hoge sulfaatoverschot wijst op een zeer sterke oxydatie van ijzer-sulfiden, die echter niet wordt weerspiegeld in het Fe-gehalte van slechts 0,06 mg/l. Het HCO_3 -gehalte is vrij hoog (1.300 mg/l) ; het wordt in hoofdzaak bepaald door kationuitwisseling.

5.5.2.7.2.9. Syntese van de voornaamste kwaliteitsveranderingen

Uit de beschrijving van de verschillende watertypes kan een mogelijke evolutiereeks voor het grondwater in de kreekgebieden worden afgeleid ; een dergelijke reeks van opeenvolgende watertypes is gegeven in figuur 5.6. . Ze omvat van boven naar onder achtereenvolgens het weinig beïnvloed F-CaHCO₃, het beïnvloed F-CaHCO₃, het Fb-CaHCO₃, het B-CaHCO₃, het B-NaHCO₃, het B-NaCl, het Bs-NaCl (matig brak-zout), het Bs-NaCl (sterk brak-zout), en tenslotte het S-NaCl₀-type water. Het S-NaCl⁺-type en het S-NaCl⁻-type zijn in de reeks niet opgenomen daar ze slechts plaatselijk worden waargenomen.

Het is een zo volledig mogelijke evolutiereeks met naar onder toe een steeds groter wordende zeezoutbijdrage, of anders gezegd, met naar boven toe een steeds verder doorgedreven uitspoeling van konnaat zeewater door zoet infiltratiewater. In werkelijkheid kunnen evenwel lokaal één of meer watertypes ontbreken ; zo is bijvoorbeeld de rechtstreekse overgang van het Fb-CaHCO₃- naar het B-NaHCO₃-type zeker niet uitgesloten.

De figuur geeft de gemiddelde gekorrigeerde concentraties voor Na, K, Ca, Mg en SO₄ in mmol/l, enerzijds als grafiek en anderzijds in tabelvorm. Het waargenomen gehalte aan HCO₃ is enkel in tabelvorm gegeven. De figuur vormt een syntese van de voornaamste kwaliteits-veranderingen die het grondwater heeft ondergaan.

Het Na^{*}-gehalte wordt nagenoeg uitsluitend bepaald door kationuitwisseling ; het is vrij laag tot en met het B-CaHCO₃-type water, waarbij toch een kleine stijging met de diepte kan worden vastgesteld. In deze watertypes is de kationuitwisseling weinig belangrijk wegens de reeds sterke uitspoeling van het konnate zeewater. Het grondwater is in de twee bovenste watertypes zelfs nagenoeg in evenwicht met het sediment.

Vanaf het B-NaHCO₃-type tot en met het matig brak-zoute Bs-NaCl-type is het grondwater gekenmerkt door een zeer hoog Na-overschot. Het betreft de zone waar de kationuitwisseling als gevolg van de verzoeting de grondwaterkwaliteit sterk heeft beïnvloed, vandaar de zeer hoge Na^{*}-waarden, tot 481 mg/l, in het laatstgenoemde watertype.

Vanaf het sterk brak-zoute Bs-NaCl-type tot en met het normale zoute water in de kreekgebieden kan hoofdzakelijk een Na-tekort worden vastgesteld. Het grondwater, dat de samenstelling van het konnate zeewater het dichtst benadert, is bijgevolg

gekenmerkt door een omgekeerde kationuitwisseling als gevolg van de verdringing van zoet door zout water. In deze omstandigheden geeft de kleifractie van de kreek-sedimenten Ca af in ruil voor Na + K + Mg uit het water. Het optreden van de omgekeerde kationuitwisseling duidt aan dat oorspronkelijk zoeter water in de kreek-sedimenten is aanwezig geweest.

Voor het K*-gehalte gelden dezelfde tendenzen als deze voor Na* ; de concentratieveranderingen van K als gevolg van de kationuitwisseling zijn evenwel geringer. Het maximale K-overschot is t.o.v. dit van Na naar de zoetere watertypes verschoven. Dit is in overeenstemming met de affiniteits-sequentie van HOFMEISTER die stelt dat K pas door de klei wordt uitgewisseld nadat Na reeds voor het grootste deel is uitgewassen.

Het Ca-gehalte vertoont een belangrijk en vrij konstant overschot tot en met het B-CaHCO₃-type water, vandaar de dominantie van Ca in deze watertypes. Het Ca-overschot is te wijten aan de oplossing van calcië in de onverzadigde zone, door zuren die in het infiltratiewater aanwezig zijn. Kationuitwisseling treedt in dit interval weinig of niet op zodat het Ca*-gehalte er niet of in verwaarloosbare mate wordt door beïnvloed.

Het B-NaHCO₃, het B-NaCl en het matig brak-zoute Bs-NaCl-type zijn gekenmerkt door een duidelijke terugval van het Ca-overschot. Deze terugval correspondeert met een hoog Na-overschot. Het Ca-gehalte is in deze watertypes afgenomen als gevolg van kationuitwisseling : Ca wordt door de kleifractie opgenomen.

Vanaf het sterk brak-zoute Bs-NaCl-type kent het Ca-overschot opnieuw een stijging die samenvalt met een toenemend tekort aan Na. Ca wordt thans bepaald door de omgekeerde kationuitwisseling waarbij Ca door de kleifractie wordt afgegeven aan het water zodat de concentratie van dit ion in het grondwater toeneemt.

Het Mg*-gehalte is laag tot en met het Fb-CaHCO₃-type water ; het is evenwel hoger dan dit van Na* en K*. Het Mg is in deze ondiepe waters afkomstig van kationuitwisseling en eventueel voor een deel van de oplossing van Mg-houdend calcië.

In het B-CaHCO₃-type en het B-NaHCO₃-type vertoont Mg een vrij hoog overschot, waarschijnlijk als gevolg van kationuitwisseling. In dit proces wordt, volgens de affiniteitssequentie, Mg uitgewisseld nadat Na en ook K reeds zijn uitgewassen. De waarnemingen blijken evenwel niet volledig overeen te stemmen met deze theorie : het hoge Mg-overschot wordt wel waargenomen nadat Na zijn maximale overschot

heeft bereikt, doch terwijl nog een belangrijke hoeveelheid Na wordt uitgewisseld. Mogelijkerwijze spelen andere processen een rol, waardoor Mg preferentieel door de kleifractie wordt afgestaan aan het grondwater.

Een belangrijke daling van het Mg^* -gehalte, tot vrijwel nul, treedt op in het B-NaCl en het matig brak-zoute Bs-NaCl-type water ; ze geschiedt gelijktijdig met de sterke toename van het Na-overschot. Schijnbaar gedraagt Mg zich in deze watertypes zoals Ca en wordt het tegen Na en eventueel K ingeruild tijdens de kation-uitwisseling, wat aanleiding geeft tot een afname van het Mg-gehalte in het water. Deze vaststelling is in tegenstrijd met de theorie. Mogelijkerwijze wordt bij het bereiken van lage Ca-gehalten in het grondwater niet langer Ca uitgewisseld tegen Na en K, doch eerder Mg. Ca kan in dit watertype immers niet meer worden geleverd door oplossing van $CaCO_3$ gezien het reeds zeer hoge HCO_3^- -gehalte in het grondwater als gevolg van sulfaatreductie.

Een andere mogelijke verklaring van het Mg-tekort is het feit dat de kation-uitwisselingscapaciteit (CEC) van kleimineralen wordt verhoogd in reducerende omstandigheden door het in oplossing gaan van ijzeroxyde-huidjes (goethiet en hematiet) die zich op de kleimineralen hebben vastgezet. Door het verdwijnen van deze huidjes worden geblokkeerde uitwisselingsplaatsen vrijgemaakt die vervolgens in hoofdzaak door Mg worden bezet (DREVER, 1971 ; SHOLKOVITZ, 1973).

Vanaf het sterk brak-zoute Bs-NaCl-type neemt het Mg-overschot opnieuw toe, samen met de sterke afname van het Na^* -gehalte. Ook in deze watertypes vertoont Mg affiniteit met Ca : het wordt in de omgekeerde kationuitwisseling blijkbaar ingeruild tegen Na en K waardoor het gehalte ervan stijgt. Een dergelijke uitwisseling van Mg kan optreden indien het grondwater waarin de kation-uitwisseling optreedt reeds hoge Ca-koncentraties vertoont (APPELO, 1986).

SO_4^* is in de beide F- $CaHCO_3$ -type waters gekenmerkt door vrij hoge waarden ; het SO_4 -overschot bedraagt gemiddeld 100 tot 300 mg/l. In dit zoete water is het SO_4 -gehalte in hoofdzaak bepaald door de oxydatie van ijzersulfiden waarbij Fe en SO_4 vrijkomen.

Vanaf het Fb- $CaHCO_3$ -type vertoont het SO_4^* -overschot een geleidelijke afname, om vanaf het B- $CaHCO_3$ -type over te gaan naar een SO_4^* -tekort. Dit tekort wordt vooral belangrijk vanaf het B-NaCl-type water. De afname van het SO_4^* -gehalte is het gevolg van de sulfaatreductie die optreedt bij de oxydatie van het organisch materiaal dat veelvuldig aanwezig is in de kreeksedimenten. Dit proces geeft aanleiding tot een SO_4 -tekort van liefst 1400 mg/l in het zoute water.

Het HCO_3 -gehalte is nagenoeg gelijk in de beide F- CaHCO_3 -type waters, waar het enkel wordt beïnvloed door de oplossing van calciëet. Kationuitwisseling en sulfaatreduktie zijn in deze waters immers te verwaarlozen.

Vanaf het Fb- CaHCO_3 -type kan een belangrijke stijging van de concentratie van HCO_3 worden vastgesteld ; de toename is het meest uitgesproken in de watertypes waar ook de sulfaatreduktie het meest intens geschiedt : het sterk brak-zoute Bs- NaCl en het S- NaCl -type. SO_4 en HCO_3 zijn nauw met elkaar verbonden. Bij de oxydatie van het organisch materiaal wordt immers SO_4 gereduceerd en HCO_3 geproduceerd waardoor het gehalte in het grondwater van het eerstgenoemde ion afneemt en dat van het laatstgenoemde toeneemt.

Ook kationuitwisseling beïnvloed het HCO_3 -gehalte, wanneer deze geschiedt met behoud van het kalkevenwicht. In dat geval is een belangrijk deel van het HCO_3 een gevolg van de oplossing van CaCO_3 bij het uitwisselingsproces. Kation-uitwisseling met kalkoplossing is evenwel slechts kenmerkend tot het B- NaHCO_3 -type water. De zoutere waters vertonen in hoofdzaak kationuitwisseling zonder toename van het HCO_3 -gehalte.

Hierbij dient opgemerkt dat de individuele analyseresultaten kleine tot belangrijke afwijkingen van dit gemiddelde schema kunnen vertonen. Ze kunnen het gevolg zijn van de lokaal sterk wisselende omstandigheden (kleigehalte, gehalte aan organisch materiaal, fysico-chemische omstandigheden) of van het feit dat het grondwater meestal door verschillende processen gelijktijdig wordt beïnvloed. Bovendien kan dit een aanwijzing zijn dat, naast de beschreven processen, nog andere factoren op de grondwatersamenstelling ingrijpen.

5.5.2.8. Grafische verwerking van de analyseresultaten

5.5.2.8.1. Variatie van de parameters met de diepte

5.5.2.8.1.1. Algemeen

De voornaamste chemische parameters werden uitgezet in funktie van de diepte. Het betreft de aangepaste concentraties voor Na , K , Mg , Ca en SO_4 , de waargenomen concentraties voor Fe , NH_4 , HCO_3 , NO_3 , PO_4 en SiO_2 , de kation-uitwisselingsparameter en de totale hardheid. De resulterende grafieken zijn

weergegeven in de figuren 5.7. tot 5.21. ; ze illustreren de hoger beschreven kwaliteitsbepalende processen.

5.5.2.8.1.2. Aangepaste natriumgehalten (Na^*) in functie van de diepte (fig. 5.7.)

Wegens de nog slechts geringe kationuitwisseling in het zoete water aan de top van het freatische grondwaterreservoir (tot het peil -2,5 m T.A.W.) , beantwoorden de Na-koncentraties aan deze die kunnen verwacht worden op basis van het chloridegehalte. Het grondwater is kenmerkend voor een sediment dat reeds intens door infiltrerend zoet water is uitgespoeld.

Tussen de peilen -2,5 en -13 vertoont het grondwater hoge tot zeer hoge Na-overschotten (tot 500 mg/l) als gevolg van kationuitwisseling. Aan de basis van dit diepte-interval bevindt zich het eerste verdringingswater. Het vertoont de hoogste Na-overschotten daar Na, overeenkomstig de affiniteitssequentie, als eerste wordt ingeruild tegen Ca.

Onder het peil -13 is het grondwater gekenmerkt door een Na-tekort (tot 400 mg/l), te wijten aan de omgekeerde kationuitwisseling als gevolg van de verdringing van zoet(er) grondwater door zout(er) water. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 5.5.2.7.2.7.2. wijst dit water erop dat in oorsprong zoeter (bv. brak) grondwater in de kreekgebieden moet aanwezig geweest zijn.

5.5.2.8.1.3. Aangepaste kaliumgehalten (K^*) in functie van de diepte (fig. 5.8.)

Voor K^* kan eenzelfde tendens worden vastgesteld als voor Na^* :

- geen tot een gering K-overschot in de topzone van de kreeksedimenten, eventueel ook beïnvloed door de uitloging van meststoffen ;
- een belangrijk overschot in de intermediaire zone ;
- een K-tekort (tot 60 mg/l) in de basiszone.

De grenzen tussen de verschillende zones vallen samen met deze van Na.

In overeenstemming met de affiniteitssequentie van HOFMEISTER worden de grootste K-overschotten echter hoger aangetroffen dan deze van Na. De hoogste Na-

overschotten worden gevonden aan de basis van de intermediaire zone, die van K daarentegen aan de top van deze zone.

5.5.2.8.1.4. Aangepaste calciumgehalten (Ca^*) in functie van de diepte (fig. 5.9.)

Nabij de grondwatertafel, tot het peil -2,5, worden hoge tot zeer hoge Ca-overschotten vastgesteld (50 tot 400 mg/l) afkomstig van de oplossing van kalk in de onverzadigde zone. Het Ca-gehalte wordt niet of nauwelijks beïnvloed door kationuitwisseling.

Tussen de peilen -2,5 en -12, neemt het Ca-overschot af ; sporadisch wordt een Ca-tekort vastgesteld. Het geringe overschot aan Ca is in hoofdzaak het gevolg van kationuitwisseling.

De spreiding van de analyseresultaten is ondermeer een gevolg van het feit dat voor een aantal watertypes het Ca dat deelneemt aan het uitwisselingsproces geleverd wordt door de oplossing van een equivalente hoeveelheid CaCO_3 , waardoor het hoge Ca-overschot blijft behouden.

Het grondwater onder het peil -12 is opnieuw gekenmerkt door een Ca-overschot, eveneens te wijten aan kationuitwisseling, doch in deze zone wordt Ca door het sediment afgegeven aan het water in ruil voor hoofdzakelijk Na (par. 5.5.2.7.2.6.2. en par. 5.5.2.7.2.7.2.).

De Ca-grafiek is volledig in overeenstemming met deze van Na en K. Hierbij dient evenwel opgemerkt dat nog andere processen de concentratie van Ca kunnen bepalen. Een hiervan is de sulfaatreductie waarbij belangrijke hoeveelheden HCO_3 kunnen worden geproduceerd. Indien hierbij het oplosbaarheidsprodukt van CaCO_3 wordt overschreden kan dit neerslaan wat aanleiding geeft tot een vermindering van het Ca-gehalte. Het optreden van dit proces kan niet uit de grafiek worden afgeleid.

5.5.2.8.1.5. Aangepaste magnesiumgehalten (Mg^*) in functie van de diepte (fig. 5.10.)

In het grondwater aan de top van de kreekgebieden worden vrij lage Mg -overschotten vastgesteld. Het Mg is er eventueel voor een deel afkomstig van de oplossing van Mg -houdende mineralen, doch waarschijnlijk in hoofdzaak van kationuitwisseling.

Tussen de peilen 0 en -2,5 worden plaatselijk zeer hoge Mg -overschotten waargenomen, tot 180 mg/l, daar waar lage Mg -gehalten mochten worden verwacht. Immers, in deze zone van het grondwaterreservoir is zeker nog niet al het aan het sediment geadsorbeerde Na uitgespoeld, getuige de vrij belangrijke overschotten van dit ion, tot ca. 150 mg/l. De hoge Mg -overschotten zijn dan ook moeilijk te verklaren.

In de zone met de meest uitgesproken kationuitwisseling, tussen de peilen -2,5 en -12,5, vertoont het grondwater lage Mg^* -gehalten en vaak zelfs een Mg -tekort. Blijkbaar wordt Mg in het uitwisselingsproces zoals Ca ingeruild tegen Na en K (paragraaf 5.5.2.7.2.6.1.).

In de zone met omgekeerde kationuitwisseling, vanaf het peil -12,5, vertoont het Mg^* -gehalte hoge waarden, tot 120 mg/l. Ook in deze zone wordt Mg blijkbaar ingeruild tegen Na en K par. 5.5.2.7.2.6.1.).

Mg gedraagt zich in de kreekgebieden bijgevolg niet zoals Na en K, doch eerder zoals Ca. Het Mg -ion is dan ook één van de grilligste ionen in het grondwater van het studiegebied.

5.5.2.8.1.6. De kationuitwisselingsparameter $(Na+K+Mg)_{aangepast}$ in functie van de diepte (fig. 5.11.)

De kationuitwisselingsparameter is uiteraard een weerspiegeling van de mate waarin kationuitwisseling is opgetreden :

- geen of een geringe kationuitwisseling in de topzone van de kreekgebieden (kationuitwisselingsparameter tot + 5 meq/l) ;

- een belangrijke kationuitwisseling in de intermediaire zone, tussen de peilen -2,5 en -13 (kationuitwisselingsparameter tot +28 meq/l) ;
- een omgekeerde kationuitwisseling onder het peil -13 (kationuitwisselingsparameter tussen -2 en -15 meq/l).

In vergelijking met de Na^* -grafiek dienen een aantal verschillen te worden aangestipt. In de topzone van het grondwaterreservoir is er een verschuiving naar hogere positieve waarden dan voor Na^* . In de intermediaire zone worden de grootste waarden voor de kationuitwisselingsparameter vastgesteld aan de top ervan, aan de basis van deze zone gelden lagere waarden. Dit is in tegenstelling met hetgeen kon worden verwacht uit de vaststellingen gedaan voor Na^* . In de basiszone is er een verschuiving naar minder negatieve waarden dan voor Na^* .

Deze vaststellingen kunnen als volgt worden verklaard :

- in de topzone van de kreekgebieden is de kationuitwisseling nagenoeg beëindigd. Na is volledig uitgewassen, slechts Mg en in mindere mate K worden nog ingeruild voor Ca. Daar de kationuitwisselingsparameter de drie kationen samen in rekening brengt is er een verschuiving naar hogere positieve waarden in vergelijking met Na^* ;
- de hogere positieve waarden aan de top van de intermediaire zone kunnen eveneens door een late fase in de kationuitwisseling, met hier vooral het inruilen van K en in mindere mate Mg, worden uitgelegd.
De lagere positieve waarden aan de basis van de intermediaire zone zijn evenwel te wijten aan een ander fenomeen. Mg^* vertoont in deze zone vaak lage waarden en meermaals zelfs een tekort. In de kationuitwisselingsparameter geeft dit een vertekening naar minder positieve waarden ;
- de minder negatieve waarden in de basiszone van de kreekgebieden kunnen op een zelfde wijze worden verklaard. Een sterk Na-tekort stemt immers vaak overeen met een uitgesproken Mg-overschot. Dit geeft voor de kationuitwisselingsparameter dan weer aanleiding tot een vertekening naar minder negatieve waarden.

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 5.5.2.7.2.6.2. blijkt dat de kationuitwisselingsparameter niet altijd geschikt is om de mate van kationuitwisseling te kwantificeren. Beter is het de aangepaste concentraties voor de verschillende ionen te beschouwen.

5.5.2.8.1.7. De totale hardheid (TH) in functie van de diepte (fig. 5.12.)

De totale hardheid is een functie van de Ca- en Mg-gehalten in het grondwater en wordt dan ook beïnvloed door dezelfde processen : in hoofdzaak kalkoplossing en kationuitwisseling.

Boven het peil -2,5 varieert de totale hardheid tussen 50 en 100 °F. In dit ondiepe grondwater wordt de hardheid, gezien het geringe Mg-gehalte, nagenoeg volledig bepaald door het Ca-gehalte afkomstig van de kalkoplossing.

Tussen het peil -2,5 en -12 kan een tendens tot iets kleinere hardheden worden vastgesteld, daar het Ca-gehalte afneemt als gevolg van kationuitwisseling. De kationuitwisseling wordt evenwel niet duidelijk weerspiegeld in de totale hardheid, en dit wegens de toegenomen zeezoutbijdrage, waardoor het gehalte aan de verschillende ionen, en dus ook aan Ca en vooral Mg wordt verhoogd.

Beneden het peil -12 kan een zeer scherpe en sterke toename van de totale hardheid worden waargenomen : van 30 tot 50 °F naar 400 tot 600 °F. De grotere hardheid van het water is voor een deel het gevolg van de steeds groter wordende zeezoutbijdrage met de diepte, waardoor het gehalte aan Ca en Mg stijgt. De zeer plotse en intense toename wordt evenwel veroorzaakt door de omgekeerde kationuitwisseling die zich beneden dit peil voordoet. Het grondwater is in deze zone gekenmerkt door een belangrijk Ca- en Mg-overschot.

5.5.2.8.1.8. De aangepaste sulfaatgehalten (SO_4^*) in functie van de diepte (fig. 5.13.).

De oxydatie van ijzersulfiden zorgt aan de top van het grondwaterreservoir, meestal tot het peil -2, voor een belangrijk SO_4 -overschot. Dit bedraagt in de meeste gevallen minder dan 300 mg/l, doch kan oplopen tot zelfs 900 mg/l.

Vanaf het peil -2 en plaatselijk reeds vanaf een hoger niveau is een geleidelijke afname van het sulfaatgehalte merkbaar, waarna een tekort aan SO_4 optreedt. Dit tekort is kleiner dan 300 mg/l rond het peil -3, doch loopt naar de basis van de kreekgebieden geleidelijk op tot ca. 2.100 mg/l. Hier is nagenoeg al het sulfaat uit het grondwater verdwenen.

Vanaf dit peil treden oxydatie van organisch materiaal op, samen met sulfaatreduktie. De reductie gebeurt vrij plots en is onmiddellijk zeer intens : over een diepte-interval van ca. 1,0 m kan een afname van het SO_4^{*} -gehalte van +200 tot +400 mg/l naar -300 tot -600 mg/l worden vastgesteld.

5.5.2.8.1.9. Het bicarbonaatgehalte (HCO_3^-) in functie van de diepte (fig. 5.14.)

Boven het peil -2 vertoont het grondwater HCO_3 -gehalten van ca. 500 mg/l. In deze zone doen zich, zoals reeds meermaals aangestipt, noch kationuitwisseling, noch sulfaatreduktie voor. Het HCO_3 is dan ook volledig afkomstig van de oplossing van calciet.

Beneden het peil -2 kan een geleidelijke stijging van het HCO_3 -gehalte met de diepte worden vastgesteld. De stijging is vergelijkbaar met deze van het sulfaattekort ; de toenemende HCO_3 -concentratie is dan ook voor een belangrijk deel veroorzaakt door sulfaatreduktie. Waar deze het verst is gevorderd kan een HCO_3 -gehalte van 4.000 mg/l worden vastgesteld.

Tussen de peilen -2 en -13 vertonen de punten op de grafiek evenwel een relatief grote spreiding. Het betreft de zone met de meest uitgesproken kationuitwisseling. In deze zone wordt het HCO_3 -gehalte eveneens door dit proces bepaald. De bijdrage van sulfaatreductie enerzijds en kationuitwisseling anderzijds kan op de grafiek niet worden onderscheiden.

5.5.2.8.1.10. Het ammoniumgehalte (NH_4^+) in functie van de diepte (fig. 5.15.)

Het ammoniumgehalte blijkt in het studiegebied vooral te worden bepaald door de oxydatie van organisch materiaal, welke gepaard gaat met sulfaatreduktie.

Meestal tot het peil -2 en steeds tot het peil 0 is het grondwater gekenmerkt door een laag NH_4 -gehalte, zeer dikwijls kleiner dan 1,0 mg/l. Het ammonium wordt immers in de onverzadigde zone uit het infiltrerende water verwijderd door omzetting tot nitraat en door opname ervan door de plantengroei (par. 5.4.2.).

Vanaf het peil -2, en soms reeds vanaf het peil 0 kan een zeer plotse stijging van het NH_4 -gehalte worden vastgesteld, met concentraties tussen 5 en 15 mg/l. Het diepte-interval waarin deze toename optreedt valt samen met dit waar de sulfaatreduktie

(en dus de oxydatie van organisch materiaal) een aanvang neemt. Dat de vrij plots optredende sulfaatreductie overeenstemt met een even abrupte stijging van het NH_4 -gehalte bewijst de samenhang tussen de beide parameters.

Op grotere diepte, en zeker beneden het peil -15, vertoont het grondwater plaatselijk een zeer hoge NH_4 -concentratie die kan oplopen tot 46 mg/l. In deze zone is ook de sulfaatreductie het verst doorgedreven.

De relatief grote spreiding van de individuele punten is vooral het gevolg van lokale verschillen in intensiteit van de oxydatie van organisch materiaal, doch ook van variaties in de samenstelling van het organisch materiaal. NH_4 kan tevens worden geadsorbeerd aan de aanwezige klei-oppervlakken (MURRAY e.a., 1978), geoxydeerd worden tot NO_2 of NO_3 in sterk reducerende omstandigheden (NISSENBAUM e.a., 1972) of neerslaan onder de vorm van NH_4 - PO_4 -zouten (NISSENBAUM e.a., 1972).

5.5.2.8.1.11. Het fosfaatgehalte (PO_4^{---}) in functie van de diepte (fig. 5.16.)

Fosfaat gedraagt zich in de meeste gevallen zoals NH_4 en is dan ook in hoofdzaak gebonden aan de afbraak van organisch materiaal.

Meestal boven het peil -2 en steeds boven het peil 0 vertoont het grondwater geringe PO_4 -gehalten, begrepen tussen 0 en 2 mg/l. Verhoogde concentraties in deze zone kunnen slechts het gevolg zijn van een lokale verontreiniging door het overmatig gebruik van meststoffen, daar fosfaat slechts in zeer beperkte concentraties aanwezig is in het infiltratiewater en niet wordt geproduceerd in de bodem.

Tussen de peilen -2 (of 0) en -15 is het grondwater gekenmerkt door verhoogde PO_4 -gehalten, met meestal concentraties tussen 5 en 20 mg/l. De toename van de PO_4 -concentratie gebeurt abrupt en valt samen met de aanvang van de sulfaatreductie en de toename van het NH_4 -gehalte.

Beneden het peil -15, waar de sulfaatreductie het meest uitgesproken is, worden evenwel lage concentraties vastgesteld : 2 tot 5 mg/l. Dit feit is niet eenduidig te verklaren ; mogelijks wordt de verminderde PO_4 -leverantie in dit diepte-interval veroorzaakt door vastlegging aan calciëet (STUYFZAND, 1985) of aan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (HEM, 1970 ; NISSENBAUM, 1972) of door de vorming van NH_4 - PO_4 -zouten

(NISSENBAUM e.a., 1972). Een PO_4 -reduktie bij de afbraak van organisch materiaal, eventueel bij gebrek aan andere oxydantia, zou het lage PO_4 -gehalte kunnen verklaren, doch dit proces is nog niet aangetoond (BAARS, 1960).

5.5.2.8.1.12. Het ijzergehalte (Fe^{tot}) en de redoxpotential (E_h) in functie van de diepte (fig. 5.17.)

De oplosbaarheid van ijzer (Fe^{++} of Fe^{+++}) is vooral van twee factoren afhankelijk : de pH en de redoxpotential E_h ; de variatie van het ijzergehalte met de diepte wordt dan ook gekorreleerd met de variatie van de redoxpotential. De stabiliteit van ijzerverbindingen in waterige oplossing is weergegeven in figuur 5.18. . Hieruit blijkt dat voor de omstandigheden in de kreekgebieden, d.w.z. een pH begrepen tussen 6,8 en 8,1 en een redoxpotential tussen -50 en -350 mV, Fe^{++} in oplossing kan voorkomen.

In waters die veel HCO_3 bevatten is de oplosbaarheid van Fe^{++} evenwel verder beperkt door het bereiken van het oplosbaarheidsprodukt van FeCO_3 (HEM , 1960a). In sterk reducerende omstandigheden, zoals in de basiszone van de kreekgebieden, wordt de oplosbaarheid van ijzer nog verminderd in de aanwezigheid van zwavelverbindingen, waarbij pyriet wordt gevormd (HEM , 1960b). Uit het stabiliteitsdiagram, weergegeven in figuur 5.19., volgt dat in de kreekgebieden pyrietvorming optreedt van zodra de redoxpotential is gedaald beneden -150 à -200 mV.

Evenwel kunnen in natuurlijke grondwaters vaak hogere Fe-gehalten worden vastgesteld dan kan worden verwacht uit de diverse stabiliteitsdiagrammen. Dit is te wijten aan het feit dat Fe organische complexen kan vormen.

In de kreekgebieden kunnen sterk wisselende ijzergehalten worden vastgesteld.

Boven het peil -2 varieert het Fe-gehalte overwegend tussen 0 en 7 mg/l. Deze zone is beïnvloed door de oxydatie van ijzersulfiden, waardoor hoge Fe-gehalten kunnen voorkomen ; Fe^{++} is immers stabiel daar de redoxpotential in deze zone overwegend varieert tussen 0 en -100 mV. Plaatselijk kan het Fe-gehalte dan ook oplopen tot 22 mg/l.

Vanaf het peil -2 is de redoxpotential gedaald beneden -150 à -200 mV, waardoor Fe^{++} niet langer stabiel is. Deze sterk reducerende omstandigheden worden bevestigd

door de intense sulfaatreductie die in deze zone het grondwater kenmerkt. Volgens het stabiliteitsdiagram zal bij de heersende redoxpotentiaal Fe^{++} neerslaan met de bij de sulfaatreductie gevormde sulfiden, met vorming van pyriet.

De Fe-gehalten zijn evenwel nog vrij hoog en plaatselijk kunnen zeer hoge Fe-gehalten (tot 33 mg/l) worden vastgesteld. Waarschijnlijk kan het ijzergehalte in het grondwater hier worden verklaard door complexatie van het opgeloste Fe^{++} aan organisch materiaal, waardoor het nog in het water kan blijven in minder gunstige E_h en pH omstandigheden.

5.5.2.8.1.13. Het nitraatgehalte (NO_3^-) in functie van de diepte (fig. 5.20.)

Nitraat is, in natuurlijke omstandigheden, slechts in geringe mate aanwezig in het grondwater. Het NO_3 , dat vrij hoge concentraties vertoont in het infiltrerende water, verdwijnt in de onverzadigde zone door denitrifikatie of door opname ervan door de plantengroei. Eventueel treedt het als oxydans op bij de oxydatie van ijzersulfiden. Bij de verdere stroming doorheen het grondwaterreservoir kan een toename van het NO_3 -gehalte slechts worden verklaard door de volledige oxydatie van organisch materiaal of door de oxydatie van NH_4 in sterk reducerend milieu.

Lokaal kan door overbemesting wel een hoog NO_3 -gehalte in het grondwater voorkomen.

De NO_3 -concentratie verandert dan ook weinig met de diepte. In de topzone van het grondwaterreservoir worden nagenoeg steeds gehalten beneden 2 mg/l en meestal beneden 1 mg/l vastgesteld. Enkele lokaal sterk verhoogde gehalten (tot 78 mg/l) wijzen op een verontreiniging door overbemesting. Deze waarden zijn echter niet op de grafiek voorgesteld.

Beneden het peil -2 kan het NO_3 -gehalte iets hogere waarden aannemen : meestal tot 3 à 4 mg/l en uitzonderlijk tot 6 mg/l. Volgens de theorie zal, bij de afbraak van organisch materiaal in anaeroob milieu, eerst NO_3 en in een latere fase pas SO_4 dienst doen als elektronenacceptor (BAARS, 1960 ; THORSTENSON, 1970). In de kreekgebieden kunnen evenwel, ondanks een intense sulfaatreductie, nog min of meer belangrijke NO_3 -concentraties in het grondwater worden waargenomen. De reductie van NO_3 bij de afbraak van organisch materiaal is dan ook niet volledig.

5.5.2.8.1.14. Het siliciumgehalte (SiO_2) in functie van de diepte (fig. 5.21.)

SiO_2 is in het grondwater aanwezig als gevolg van de oplossing van hoofdzakelijk amorf kiesel ; in oplossing neemt het de vorm H_4SiO_4 aan. De opname van SiO_2 door het grondwater geschiedt reeds in de onverzadigde zone ; het gehalte kan toenemen naarmate meer SiO_2 wordt opgelost bij verdere stroming doorheen het sediment.

Een afname van het SiO_2 -gehalte in het grondwater kan het gevolg zijn van de adsorptie aan of inbouw in organisch materiaal (STUYFZAND, 1985) of omzetting van kleimineralen en neerslag van aluminosilikaten (WALRAEVEN, 1987).

In de kreekgebieden is de zone boven het peil -2 gekenmerkt door sterk uiteenlopende SiO_2 -gehalten, met variaties tussen 10 en 100 mg/l. Het is grondwater waarin de oplossing van SiO_2 in wisselende mate is opgetreden en waarin zich nog geen evenwicht heeft ingesteld.

Beneden het peil -2 kan geen variatie van het SiO_2 -gehalte met de diepte worden vastgesteld. De concentratie blijft konstant en varieert tussen 50 en 80 mg/l. Waarschijnlijk heeft zich vanaf deze diepte evenwicht ingesteld.

5.5.2.8.2. Verbanden tussen de chemische parameters

5.5.2.8.2.1. Algemeen

In deze paragraaf worden de kwaliteitswijzigende chemische processen geïllustreerd door middel van het verband tussen de verschillende chemische parameters. De onderlinge verbanden worden afgeleid uit scattergrammen (fig. 5.22. tot 5.29.).

Voor de opstelling van de scattergrammen werd slechts gedeeltelijk gesteund op de waargenomen concentraties van de ionen. Deze, en zeker de gelogaritmeerde waarden, geven mooie scattergrammen, doch de chemische veranderingen die het grondwater heeft ondergaan worden vaak gemaskeerd door de aanzienlijke concentratieveranderingen die het gevolg zijn van variaties in de natuurlijke zeezoutbijdrage. In normale scattergrammen komen deze kwaliteitswijzigingen dan ook nauwelijks tot uiting.

Om deze reden werd voor de ionen Na, K, Mg, Ca en SO_4 gebruik gemaakt van de aangepaste concentraties volgens STUYFZAND. Wegens het voorkomen van negatieve waarden (tekorten) diende een lineaire schaal te worden angewend.

De verschillende scattergrammen vertonen een vrij grote spreiding van de individuele punten. Dit is enerzijds het gevolg van de sterk wisselende lokale omstandigheden en anderzijds van het feit dat de chemische parameters niet door één enkel kwaliteitsbepalend proces, doch vaak door meerdere processen gelijktijdig worden beïnvloed.

Meestal zijn in de scattergrammen twee puntengroepen te onderscheiden : een groep zonder verband tussen de parameters in het scattergram enerzijds en een groep met een duidelijk verband anderzijds. De eerste groep betreft nagenoeg steeds het ondiepe zoete grondwater dat vaak weinig of niet door de processen welke de kwaliteit van de diepere waters bepalen wordt beïnvloed.

5.5.2.8.2.2. Het verband tussen Na^* en K^* (fig. 5.22.)

Het scattergram toont aan dat beide ionen zich in het kationuitwisselingsproces op een zelfde wijze gedragen. Na-overschotten stemmen bijna steeds overeen met K-overschotten, Na-tekorten met K-tekorten. Daar Na het dominante kation is in de uitwisseling is het Na-overschot of -tekort in vergelijking met dit van K groter, net als de spreiding van de punten langs de Na^* -as.

Ook de affiniteitssequentie van HOFMEISTER komt in het scattergram tot uiting. De hoogste Na-overschotten korresponderen meestal met matige K-overschotten ; de meest positieve K^* -gehalten daarentegen met lage Na-overschotten.

De puntengroep met grote dichtheid nabij het snijpunt van beide assen is gekenmerkt door weinig tot geen kationuitwisseling. Het zijn de analyseresultaten van het zoete grondwater, dat als gevolg van de reeds lange doorspoeling nagenoeg in evenwicht is met het sediment. Het feit dat in dit grondwater Na niet meer, doch K nog merkbaar wordt uitgewisseld is opnieuw in overeenstemming met de affiniteitssequentie.

5.5.2.8.2.3. Het verband tussen ($\text{Na}^* + \text{K}^*$) en Ca^* (fig. 5.23.)

Het scattergram is gekenmerkt door twee duidelijk verschillende puntengroepen :

- een eerste groep punten, met de grootste dichtheid, en met een laag en onveranderlijk $\text{Na} + \text{K}$ -overschot en een wisselend Ca -overschot van 100 tot 250 mg/l. Het betreft de zoete waterstalen waarvoor het Ca -gehalte wordt bepaald door oplossing van CaCO_3 , welke geen invloed uitoefent op het gehalte aan Na en K .
- een tweede puntengroep met grotere spreiding : $\text{Na} + \text{K}$ -overschotten stemmen overeen met lage tot zelfs negatieve Ca^* -waarden, $\text{Na}^* + \text{K}^*$ -tekorten met hoge tot zeer hoge Ca^* -gehalten. Voor deze puntengroep kan bijgevolg wel een verband tussen de beide parameters worden vastgesteld : in het kation-uitwisselingsproces wordt $\text{Na} + \text{K}$ door het sediment afgegeven aan het water in ruil voor Ca , of omgekeerd.

5.5.2.8.2.4. Het verband tussen ($\text{Na}^* + \text{K}^*$) en Mg^* (fig. 5.24.)

Het verband tussen Mg^* en ($\text{Na}^* + \text{K}^*$) is vergelijkbaar met dit tussen laatstgenoemde parameter en Ca^* : hoge $\text{Na} + \text{K}$ -overschotten stemmen vaak overeen met duidelijk negatieve Mg^* -waarden, $\text{Na}^* + \text{K}^*$ -tekorten daarentegen met positieve Mg^* -gehalten. Mg^* gedraagt zich dus, tegen de verwachtingen, net zoals Ca^* in de kationuitwisseling.

Andere chemische processen beïnvloeden bijgevolg de kationuitwisseling en zijn verantwoordelijk voor de preferentiële opname of afgifte van Mg door het sediment (par. 5.5.2.7.2.6.1.).

5.5.2.8.2.5. Het verband tussen ($\text{Na}^* + \text{K}^*$) en ($\text{Ca}^* + \text{Mg}^*$) (fig. 5.25.)

Het vastgestelde, gelijkaardige verband tussen ($\text{Na}^* + \text{K}^*$) en Ca^* enerzijds, en Mg^* anderzijds komt nog beter tot uiting in het scattergram dat eerstgenoemde parameter korreleert met ($\text{Ca}^* + \text{Mg}^*$). Vooral het hoge overschot van deze ionen bij negatieve ($\text{Na}^* + \text{K}^*$)-gehalten is in dit diagram duidelijker dan bijvoorbeeld in het Ca^* -diagram.

5.5.2.8.2.6. Het verband tussen Ca^* en Mg^* (fig. 5.26.)

Alhoewel Ca^* en Mg^* een overeenstemmend gedrag vertonen t.o.v. $(\text{Na}^* + \text{K}^*)$, komt een onderling verband niet duidelijk tot uiting op het scattergram dat de beide parameters korreleert. Dit is mede het gevolg van het feit dat Ca en Mg door meerdere processen worden beïnvloed.

Een eerste puntengroep zonder verband tussen beide parameters is kenmerkend voor het zoete grondwater beïnvloed door kalkoplossing : het Ca^* -gehalte, variërend tussen 150 en 250 mg/l, korrespondeert met lage en onveranderlijke Mg -overschotten.

In een tweede puntengroep, met grotere spreiding van de afzonderlijke analyseresultaten, kan wel een verband tussen Ca en Mg worden vastgesteld : hoge Ca^* -waarden stemmen overeen met gelijkaardig hoge Mg^* -gehalten, Ca-tekorten met Mg-tekorten. Het Ca-overschot is meestal een weinig belangrijker dan dit van Mg ; voor de tekorten geldt vaak het tegenovergestelde.

5.5.2.8.2.7. Het verband tussen SO_4^* en HCO_3 (fig. 5.27.)

In het scattergram, dat het verband tussen SO_4^* en HCO_3 weergeeft, moeten twee punten-groepen worden onderscheiden.

Een eerste puntengroep met grote dichtheid vertoont HCO_3 -gehalten beneden 750 mg/l en vrij hoge tot zeer hoge SO_4^* -koncentraties (> 300 mg/l). In deze punten-groep staan beide parameters niet in relatie met elkaar daar ze door onafhankelijke processen worden bepaald : het SO_4^* -gehalte door de oxydatie van ijzersulfiden, het HCO_3 -gehalte door kalkoplossing.

De overige punten tonen een lineair verband, waarbij de HCO_3 -koncentratie zeer sterk toeneemt met de afname van de SO_4^* -waarde. Voor deze punten zijn de beide parameters met elkaar verbonden door de sulfaatreduktie.

5.5.2.8.2.8. Het verband tussen SO_4^* en NH_4 (fig. 5.28.)

Ook dit scattergram toont 2 afzonderlijke puntengroepen, een groep zonder verband tussen de beide componenten en een andere met een min of meer duidelijk verband.

In de eerste puntengroep met hoge SO_4 -overschotten en een laag en onveranderlijk NH_4 -gehalte wordt de SO_4^* -koncentratie bepaald door de oxydatie van ijzersulfiden, een proces dat het NH_4 -gehalte niet wijzigt.

De tweede puntengroep is gekenmerkt door een algemene toename van de NH_4 -koncentratie met de afname van het SO_4^* -gehalte ten gevolge van de sulfaat-reduktie. Het feit dat de toename van de NH_4 -koncentratie met de afname van het SO_4^* -gehalte niet steeds even uitgesproken is kan een gevolg zijn van de adsorptie van de NH_4 -ionen op de kleifrakctie van de kreeksedimenten, de oxydatie ervan tot NO_2 of NO_3 of de vorming van NH_4 - PO_4 -zouten.

5.5.2.8.2.9. Het verband tussen SO_4^* en PO_4 (fig. 5.29.)

Hoewel SO_4 en PO_4 met elkaar verbonden zijn door sulfaatreduktie (oxydatie van organisch materiaal) blijkt dit niet erg duidelijk uit het scattergram.

Een eerste puntengroep, met hoge SO_4 -overschotten en lage PO_4 -gehalten, geeft de waterstalen weer waarvoor beide parameters niet zijn gerelateerd. SO_4 wordt beïnvloed door de oxydatie van ijzersulfiden ; PO_4 is nagenoeg volledig te wijten aan uitloging van meststoffen.

In een tweede puntengroep gaat de afname van het SO_4 -overschot gepaard met een plotse en zeer intense toename van het PO_4 -gehalte. Beide parameters zijn hier gekorreleerd via de sulfaatreduktie.

In een derde groep wijst het konstant blijven van PO_4 met sterk toenemend SO_4 -tekort erop dat beide parameters onafhankelijk van elkaar worden beïnvloed. PO_4 wordt nog wel gevormd tijdens de sulfaatreduktie doch wordt vervolgens door andere processen uit het water verwijderd.

5.5.2.8.3. Piperdiagrammen

5.5.2.8.3.1. Algemeen

De relatieve verdeling van de vier belangrijkste ionengroepen in natuurlijke waters ($\text{Na} + \text{K}$; $\text{Ca} + \text{Mg}$; $\text{Cl} + \text{SO}_4$; $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$) kan worden weergegeven op een Piperdiagram. Tevens kunnen de veranderingen van de grondwaterkwaliteit uit dergelijke diagrammen worden afgeleid.

Op de diagrammen (fig. 5.30. tot 5.36.) is een menglijn voorgesteld welke de relatieve ionenverdeling geeft van normaal mengwater, ontstaan door de gewone menging van gemiddeld zoet water en zeewater. De individuele punten zijn voorzien van een lijntje dat wijst naar de plaats waar het waterstaal zich zou bevinden op deze menglijn indien het water niet beïnvloed zou zijn door kwaliteitswijzigende processen. De positie van de waterstalen op de menglijn kan worden afgeleid uit het chloridegehalte daar dit zich conservatief gedraagt. Een dergelijke voorstelling wordt niet gegeven voor de zoete waters daar deze door de talrijke analyseresultaten toch weinig overzichtelijk zou zijn.

5.5.2.8.3.2. Piperdiagram van het globale analysebestand

De relatieve ionenverdeling van het globale analysebestand is weergegeven in figuur 5.30. . Uit de positie van de individuele punten werd de begrenzing van de watertypes volgens STUYFZAND in het Piperdiagram afgeleid (fig. 5.31.). De grens tussen de Ca-types en de Na-types en deze tussen de HCO_3 -types en de Cl , SO_4 of Mix-types is hierbij eenduidig vastgelegd, respectievelijk op 50% $\text{Na} + \text{K}$ (of $\text{Ca} + \text{Mg}$) en 50% HCO_3 (of $\text{Cl} + \text{SO}_4$). De overige grenzen, d.w.z. het onderscheid op basis van het hoofdtype (F, Fb, B, Bs, S) en dit tussen het Cl , SO_4 of Mix-type, is arbitrair en enkel gesteund op de verspreiding van de beschikbare analyseresultaten in het Piperdiagram. Nieuwe resultaten kunnen bijgevolg de onderlinge grenzen wijzigen, doch dit waarschijnlijk slechts in geringe mate.

De zoete watertypes (F-types) zijn, zoals de meeste zoete waters, gekenmerkt door een relatief overwicht van Ca en HCO_3 als gevolg van kalkoplossing. De individuele punten bevinden zich dan ook aan de linkerzijde van het Piper-diagram.

Wegens het optreden van de oxydatie van ijzersulfiden is het SO_4 -gehalte meestal vrij hoog. Vandaar dat het HCO_3 in de zoete waters van de kreekgebieden minder

dominant is over de overige anionen dan in normaal zoet water. De waterstalen zijn dan ook minder dicht tegen de onderzijde van het diagram gesitueerd en een spreiding langsheen de $\text{Cl} + \text{SO}_4$ -as kan worden waargenomen. Voor een aantal analyseresultaten is het SO_4 -gehalte voldoende hoog opdat HCO_3 niet langer 50% van de anionen uitmaakt. Deze punten bevinden zich boven de 50% $\text{Cl} + \text{SO}_4$ -lijn ; het betreft dan het CaMix-type of zelfs het CaSO_4 -type voor de waterstalen waarvoor SO_4 meer dan 50% van de anionen uitmaakt.

Het speciale watertype F- NaHCO_3 is t.o.v. de overige zoete waters naar de rechterzijde van de ruit in het Piperdiagram verschoven, d.w.z. naar de Na-zijde toe. Dit is een gevolg van de uitgesproken kationuitwisseling in dit grondwater. Het belang van de kationuitwisseling blijkt uit het feit dat dit waterstaal zich zelfs verder rechts in het diagram bevindt dan de meeste brakke waterstalen.

De zoet-brakke en de brakke waters bevinden zich in het centrale deel van de ruit. In vergelijking met de zoete waters vertonen ze een duidelijke verschuiving naar de Na-zijde van het diagram. Voor de watertypes is in het diagram een grotere oppervlakte voorzien aan de Na- en de HCO_3 -zijde dan aan de Ca- en de Cl, Mix of SO_4 -zijde. De grotere uitbreiding naar de Na-zijde is enerzijds een gevolg van de toenemende natuurlijke zeezoutbijdrage en anderzijds een gevolg van kationuitwisseling, waardoor Na in belang toeneemt t.o.v. Ca. De grotere uitbreiding naar de HCO_3 -zijde is enerzijds te wijten aan de nog te geringe zeezoutbijdrage die de invloed van de kalkoplossing nog niet kan verdringen en anderzijds aan de sulfaatreduktie die aanleiding geeft tot een verhoging van het HCO_3 -gehalte.

Voor de zoet-brakke waters zijn de Ca- en de Na-types gelijk vertegenwoordigd in de waterstalen ; meestal domineert HCO_3 . Slechts wanneer het sulfaatgehalte door de oxydatie van ijzersulfiden nog hoog is worden Mix-waters aangetroffen.

De brakke waters vertonen t.o.v. de zoet-brakke waters veelvuldiger een dominantie van Na als gevolg van de meer uitgesproken kationuitwisseling en zijn, wegens de grotere zeezoutbijdrage, een weinig verschoven naar de Cl-zijde van het Piperdiagram. Dit laatste komt tot uiting in het NaCl-type waar Cl voor het eerst meer dan 50% van de anionen uitmaakt. Het is het brakke watertype dat het dichtst bij de NaCl -hoek van het diagram is gesitueerd.

De brak-zoute waters bevinden zich aan de Na- en de Cl-zijde van de ruit. Als gevolg van de belangrijke zeezoutbijdrage maken Na en Cl steeds 50% uit van

respektievelijk de kationen en de anionen, zodat nog slechts één watertype voorkomt.

De zoute waters bevinden zich nagenoeg op de positie die zeewater in het Piper-diagram inneemt.

5.5.2.8.3.3. Piperdiagram van de zoete waters (fig. 5.32.)

De relatieve ionenverdeling van de zoete waters is weergegeven in figuur 5.32. . De tendenzen die er kunnen uit worden afgeleid werden reeds aangestipt in de vorige paragraaf.

5.5.2.8.3.4. Piperdiagram van de zoet-brakke waters (fig. 5.33.)

Op het Piperdiagram is de menglijn tussen gemiddeld zoet water en zeewater voorgesteld ; de richting waarin de waterstalen zijn verschoven t.o.v. hun positie op de menglijn is aangeduid.

Het onderste waterstaal van deze behorend tot het CaHCO_3 -type is evenwijdig met de $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ -as verschoven naar een hoger relatief belang van HCO_3 . Het is dus enkel beïnvloed door sulfaatreduktie. De verschuiving van het andere waterstaal wordt samengesteld uit twee componenten : een verschuiving naar een hogere HCO_3 -waarde enerzijds en naar een groter relatief belang van Na anderzijds. Dit waterstaal is bijgevolg ook nog door kationuitwisseling beïnvloed. De component van dit proces is groter dan deze van de sulfaatreduktie.

De waterstalen van het NaHCO_3 -type zijn alle verplaatst naar de Na-en de HCO_3 -zijde van de ruit. Ze zijn alle beïnvloed door kationuitwisseling en sulfaatreduktie. Meestal is de bijdrage van kationuitwisseling het grootst.

De CaMix-type waters vertonen een verschuiving naar de SO_4 - en de Ca-zijde van het diagram. Deze verschuiving is het gevolg van eenzelfde proces, nl. de oxydatie van ijzersulfiden in de onverzadigde zone, waarbij het bij de oxydatie gevormde Fe^{++} wordt gebufferd door de oplossing van CaCO_3 , waarna het neerslaat als FeCO_3 .

5.5.2.8.3.5. Piperdiagram van de brakke waters (fig. 5.34.)

De brakke waters van het CaHCO_3 -type zijn duidelijk verplaatst naar hogere HCO_3 -waarden ; ze hebben bijgevolg de invloed van sulfaatreductie ondergaan. De verschuiving naar hogere Na-gehalten is verwaarloosbaar, wat aantoont dat de kationuitwisseling in dit watertype weinig uitgesproken is.

De waterstalen van het NaHCO_3 -type zijn in dezelfde wijze verplaatst ; het belang van de kationuitwisseling, en dus de verplaatsing naar rechts, is evenwel toegenomen. Ook in dit watertype is de sulfaatreductie veruit het belangrijkste proces.

Het NaMix-type is gekenmerkt door in hoofdzaak een verplaatsing naar hogere Na-waarden ; een verschuiving naar hogere HCO_3 -waarden treedt niet op. De waterstalen vertonen inderdaad een geringe sulfaatreductie ; een SO_4 -overschot kan nog worden waargenomen. In dit watertype is kationuitwisseling dus veruit het belangrijkste proces.

In het NaCl-type zijn beide processen even uitgesproken.

5.5.2.8.3.6. Piperdiagram van de brak-zoute waters (fig. 5.35.)

De brak-zoute waters vertonen meestal een verschuiving naar de Na- en de HCO_3 -zijde van het Piperdiagram, wijzend op de invloed van sulfaatreductie en kationuitwisseling. Het betreft de matig brak-zoute waters en enkele waterstalen van het sterk brak-zoute water, die nog een normale uitwisseling vertonen. Vanaf het brak-zoute water is de sulfaatreductie zeer intens (fig. 5.6.) zodat logischerwijze de bijdrage van de HCO_3 -komponent tot de verschuiving het grootst is.

Een aantal waterstalen vertoont een verplaatsing naar de Ca-zijde van de ruit. Deze waters zijn beïnvloed door de omgekeerde kationuitwisseling die aanleiding geeft tot een toename van het belang van Ca t.o.v. Na.

5.5.2.8.3.7. Piperdiagram van de zoute waters (fig. 5.36.)

De zoute waters zijn alle gekenmerkt door een verplaatsing naar hogere HCO_3 -gehalten ; sulfaatreductie heeft dus de samenstelling van het water gewijzigd.

Als gevolg van de omgekeerde kationuitwisseling vertonen de punten een verschuiving naar de Ca-zijde van het diagram. De verschuiving is ondergeschikt aan deze te wijten aan sulfaatreduktie.

Eén waterstaal bevindt zich boven de menglijn tussen zoet en zout water. Dit waterstaal vertoont een hoger chloridegehalte dan het beschouwde zeewater (strandwater te Blankenberge).

5.6. Grondwaterkwaliteit in de fijnkorrelige poelgebieden

5.6.1. Problemen bij het kwaliteitsonderzoek in fijnkorrelige sedimenten

Gedetailleerd hydrochemisch onderzoek werd tot op heden meestal beperkt tot doorlatende lagen. Immers, het verzamelen van representatieve grondwaterstalen uit fijnkorrelige, slecht doorlatende sedimenten is met behulp van de klassieke peilbuizen onmogelijk. Nochtans spelen deze weinig doorlatende lagen, en meer bepaald klei- en veenlagen, een belangrijke rol in de samenstelling van het grondwater. In de westelijke kustvlakte, en zeker in de IJzervlakte, waar grote delen van het kwartaire grondwaterreservoir zijn opgebouwd uit fijnkorrelige afzettingen kan de grondwaterkwaliteit slechts grondig worden begrepen indien het water in deze afzettingen bij het onderzoek wordt betrokken.

Het opstellen van resistiviteitsdoorsneden, zoals aangegeven in paragraaf 5.5.1.3., vereist de bepaling van een gemiddelde formatiefactor voor het beschouwde hydrogeologische gebied of formatie. Een dergelijke formatiefactor kan slechts worden afgeleid indien deze onafhankelijk is van de poriënwaterkwaliteit.

Dit is het geval voor zandige afzettingen welke elektrisch inert zijn. Voor fijnkorrelige afzettingen varieert de formatiefactor evenwel met de poriënwater-samenstelling. Het is immers aangetoond dat, voor éénzelfde porositeit, fijnkorrelige afzettingen verzadigd met zoet water een lagere resistiviteit geven dan matig tot grofkorrelige gesteenten. Is het sediment daarentegen gevuld met zout water, dan kan een hogere resistiviteit worden vastgesteld (DAKHNOV, 1962).

De lagere resistiviteit bij verzadiging met zoet water kan worden verklaard door de afscheiding van ionen door de kleimineralen en door de oppervlaktegeleiding langs de elektrische dubbellagen aan de korrelgrenzen van de kleideeltjes. De grotere resistiviteit bij verzadiging met zeer zout water is het gevolg van de adsorptie van ionen in de dubbellagen van de kleimineralen. Tevens neemt de viscositeit van het water in deze dubbellagen toe, waardoor de mobiliteit van de ionen vermindert.

Daar weinig is geweten over de grondwatersamenstelling in fijnkorrelige afzettingen is ook over de variatie van de formatiefactor met waterkwaliteit in deze sedimenten nauwelijks iets gekend. De relatie tussen ρ_t en TDS is bijgevolg nog niet ondubbelzinnig vastgelegd.

5.6.2. Extraktie van poriënwaters door uitoefening van druk

5.6.2.1. Algemeen

Om de fijnkorrelige afzettingen in het onderzoek te betrekken werd gezocht naar een geschikte methode om representatieve waterstalen uit deze sedimenten te verkrijgen. Diverse technieken voor de verzameling van kwaliteitsgegevens uit fijne gesteenten worden in de literatuur beschreven :

- vervanging van het poriënwater door gas of weinig mengbare vloeistoffen (olie, ...) ;
- centrifuge ;
- vacuümfiltratie ;
- uitloging ;
- extraktie d.m.v. druk ;
- rechtstreekse meting op grondstalen d.m.v. speciale elektroden ;
- in situ metingen (in het boorgat).

Niet alle technieken bleken echter even waardevol. Voor toepassing in een uitgebreid kwaliteitsonderzoek, gebaseerd op een zo groot mogelijk aantal analyse-resultaten, dient de aangewende onderzoekstechniek snel en eenvoudig te zijn. Om deze reden en wegens het feit dat de methode zijn toepasbaarheid reeds had bewezen in het "Deep Sea Drilling Project" (DSDP) werd gekozen voor de extraktie onder hoge druk.

Deze methode, de "high pressure filtration technique", werd reeds in het begin van deze eeuw toegepast (RAMANN, 1916 ; LIPMAN, 1918), doch kende slechts een belangrijke ontwikkeling nadat het principe van afdichtende rubberen ringen werd toegepast (KRIUKOV, 1947). Vanaf 1950 werd de methode uitvoerig aangewend in de U.S.S.R. (BRUEVICH ; SHISHKINA ; e.a.) ; vanaf 1968 werd de perstechniek een standaardmethode in het Deep Sea Drilling Project (DSDP). In dit kader werd de methode volledig op punt gesteld en werden de mogelijke foutenbronnen in detail bestudeerd (MANHEIM ; SAYLES ; e.a.) . In deze periode werd tevens gewezen op de bruikbaarheid van de methode in hydrogeologisch onderzoek, vooral in het kader van zoet-zout water problemen (LUSCZYNSKI & SWARZENSKI, 1962).

Met het oog op de toepassing van de techniek in het bestek van deze studie werd contact opgenomen met F.T. MANHEIM van het INSTITUUT voor MARIENE

GEOLOGIE te WOODS HOLE, MASSACHUSETTS. Het is mede dankzij zijn raadgevingen dat een gepast extraktietoestel kon worden ontwikkeld en dat eventuele fouten zo veel mogelijk konden worden geëlimineerd.

5.6.2.2. Extraktiepers

Diverse toestellen zijn in de literatuur beschreven ; het toestel dat werd vervaardigd in het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie is een aangepaste versie van dit beschreven door MANHEIM (1966). Het is opgebouwd uit een cylinder, een stamper en een basis waarin zich een afvoerkanaal en een filterelement bevinden (fig. 5.37.). Alle onderdelen zijn vervaardigd uit roestvrij staal.

Het filterelement, dat dienst doet als barrière voor het sediment en enkel het poriënwater doorlaat, is samengesteld uit een metalen raster met openingen van 125 μm waarop één of meerdere blaadjes filtreerpapier worden geplaatst. Het aangewende filtreerpapier is gekenmerkt door openingen van 45 μm .

Het raster rust op de metalen basis die aan dit contactvlak schotelvormig is uitgewerkt teneinde de uitgeperste vloeistof te verzamelen in een centrale opening die toegang geeft tot het afvoerkanaal.

Het afvoerkanaal vertoont een zo klein mogelijke diameter om de accumulatie van poriënwater in het toestel te vermijden. Aan het uiteinde (de uitvloeioopening) is het kanaaltje iets groter uitgeboord zodat een injectiespuit voor de opvang van het water kan worden aangebracht.

Waterverlies onderaan en bovenaan het toestel wordt vermeden door rubberen ringen (" self sealing gaskets ") die uitzetten tegen de wanden van de cylinder als druk wordt uitgeoefend, en dus zorgen voor een hermetische afsluiting.

De druk op het monster wordt uitgeoefend via de stamper. De vereiste druk wordt verkregen met behulp van een standaard laboratoriumpers met een maximale capaciteit van 13 ton. Aangezien de binnendiameter van het toestel 4,7 cm bedraagt stemt deze capaciteit overeen met een maximale druk op het grondstaal van 750 kg/cm^2 .

De binnendiameter van de cylinder, d.i. de nuttige oppervlakte, werd gekozen op basis van de doorsnede van de verzamelde grondstalen (in ons geval 5 cm), en

aangepast aan de standaarddiameters van het filtreerpapier verkrijgbaar in de handel. De best overeenstemmende diameter bedroeg 4,7 cm.

Toestellen met grotere diameter leveren een groter volume aan geëxtraheerd poriënwater, doch de uitoefening van hoge drukken vereist een laboratoriumpers met zeer hoge capaciteit. Het omgekeerde is waar voor extraktietoestellen met kleinere diameter.

Dienen sterk uiteenlopende materialen te worden uitgeperst dan kan het nuttig zijn te beschikken over meerdere toestellen. Afhankelijk van de aard van het materiaal (doorlatendheid en watergehalte) kan dan de toesteldiameter worden aangepast.

Algemeen kan een persoperatie als volgt worden samengevat :

1. Aanbrengen van het filterelement en de basis met afvoerkanaal in de cylinder ;
2. Aanbrengen van het grondstaal in de cylinder, net als de PVC-dekplaat en de rubberen afdichtingsring. Het grondmonster wordt met zorg behandeld teneinde kontaminatie te vermijden ;
3. Inbrengen van de stamper ;
4. Plaatsing van het extraktietoestel in de hydraulische laboratoriumpers en uitoefening van druk ;
5. Aanbrengen van de injectiespuit nadat de eerste druppels poriënwater uitvloeien (de lucht is dan uit het toestel verwijderd). De uitgeperste vloeistof duwt de zuiger van de injectiespuit naar buiten naarmate meer vloeistof uitvloeit. Aldus wordt contact met de lucht en dus evaporatie vermeden ;
6. Verwijderen en afsluiten van de injectiespuit nadat een voldoende groot volume aan poriënwater is bereikt. De injectiespuit wordt opgeslagen voor verder onderzoek ;
7. Verwijderen van het grondmonster, dat de vorm heeft aangenomen van een min of meer platte, droge koek. Het toestel wordt vervolgens gereinigd, afgespoeld met gedistilleerd water en wanneer een snelle droging is vereist nagespoeld met aceton of alkohol (met uitzondering van de rubberen onderdelen).

Afhankelijk van de diameter van het toestel en de eigenschappen van het uit te persen materiaal kunnen waterstalen van enkele ml tot meer dan 15 ml worden verkregen. De tijd vereist voor één persoperatie varieert van 5 tot 30 min.

De in de literatuur aangewende drukken schommelen tussen 5 en 700 kg/cm². Voor de extraktie van poriënwaters uit vaste gesteenten wordt een druk van meer dan 10.000 kg/cm² aangewend (KRIUKOV, 1971).

5.6.2.3. Mogelijke foutenbronnen

5.6.2.3.1. Invloed van druk op de poriënwatersamenstelling

In de eerste ontwikkelingsstadia van de perstechniek werd door meerdere auteurs gesteld dat uitoefening van druk de vloeistof-vaste stof-evenwichten beïnvloedt en oorzaak is van oplossings- en/of precipitatie-effecten (NORTHROP, 1918 ; MURTHY & FERRELL, 1972 en 1973). Tevens kan zoutfiltratie optreden indien water wordt geperst door kleimembranen (VON ENGELHARDT & GAIDA, 1963 ; KHARAKA & BERRY, 1973 ; HANSHAW & COPLEN, 1973), waardoor het zoutgehalte van het uitgeperste poriënwater wordt verlaagd en de relatieve concentratie van de diverse ionen wijzigt (monovalente ionen worden beter tegengehouden dan divalente). De zoutfiltratie zou het meest uitgesproken zijn met toenemende kationuitwisselingskapaciteit, afnemend zoutgehalte en toenemende graad van kompaktie.

Gedetailleerd onderzoek, uitgevoerd in de Sovjetunie (KRIUKOV & KOMAROVA, 1956 ; TSYBA & KRIUKOV, 1959 ; KRIUKOV, 1964) op brakke en zoute waters heeft evenwel aangetoond dat de samenstelling van het poriënwater niet wordt beïnvloed door de uitgeoefende druk gedurende het grootste gedeelte van de persoperatie. Slechts op het einde van de persoperatie neemt het zoutgehalte van het poriënwater drastisch af (fig. 5.38.). Dit fenomeen is zeker niet te wijten aan zoutfiltratie daar het restwater in het sediment een nog lager zoutgehalte vertoont dan de uitgeperste vloeistof. De verklaring dient te worden gezocht in het feit dat weinig gemineraliseerd gebonden water wordt uitgeperst indien nog slechts een kleine hoeveelheid residueel water in het grondstaal aanwezig is.

De kritische druk in figuur 5.38. werd bereikt bij 1.400 kg/cm² voor een NaCl-oplossing van 0,86 N. Voor zoetere waters werd de kritische druk eerder waargenomen. De proeven hadden betrekking op Na-bentonietklei, welke sterk onderhevig is aan drukeffecten. Onderzoek door KRIUKOV & ZHUCHKOVA (1963) toonde aan dat de kritische drukken hoger gelegen zijn bij normale sedimenten.

Andere studies (MANHEIM, 1966 ; SAYLES, 1970 ; SHISHKINA, 1968 en 1972) bevestigden de resultaten van de Russische wetenschapslui. In het onderzoek van MANHEIM (1966) werd klei, samengesteld uit illiet en montmorrilloniet uitgeperst tot 1625 kg/cm². Reeds vanaf een druk van 930 kg/cm² was een verdere extractie van het poriënwater nagenoeg onmogelijk. Zelfs bij volledige uitpersing van het poriënwater kon geen kwaliteitsverandering worden waargenomen. Metingen op de uitgeperste grondstalen met behulp van een membraan-salino-meter gaven aan dat het residuele water in het grondstaal een lager zoutgehalte bezit dan het uitgeperste poriënwater, wat in overeenstemming is met de bevindingen van KRIUKOV.

Het onderzoek van SHISHKINA (1968) is voorgesteld in tabel 5.51. Ook dit onderzoek heeft betrekking op zout water (± 33.000 mg/l). Weinig of geen concentratieveranderingen kunnen worden waargenomen, zelfs niet bij extreem hoge drukken.

Tabel 5.51. Invloed van druk op poriënwaters geperst uit kleiïge mariene sedimenten (SHISHKINA, 1968).

Druk (kg/cm ²)	Cl	SO ₄	Alk	Na	Ca	Mg	K	Totaal
<u>Klei (Bering zee)</u>								
0-270	18,38	0,86	1,65	-	0,35	1,18	-	32,9
270-405	18,39	-	1,65	10,47	0,35	1,17	-	32,7
405-675	18,39	0,84	1,65	10,45	0,35	1,16	-	32,9
675-1080	18,39	0,84	1,68	10,45	0,36	1,18	-	32,8
1080-1630	18,39	0,88	-	10,33	0,35	1,15	-	-
1630-2150	18,38	-	-	-	0,35	1,18	-	-
2150-3100	18,35	0,88	1,63	10,43	-	-	-	32,8
<u>diatomeeënklei</u>								
<u>(Okhotsk zee)</u>								
0-270	19,15	2,71	0,30	10,72	0,42	1,27	0,56	35,2
270-405	-	2,70	0,30	10,74	0,43	1,26	0,56	-
405-675	19,15	2,70	0,30	10,76	0,43	1,26	0,56	35,2
675-1080	19,15	2,68	0,29	10,74	0,42	1,27	0,57	35,2

De invloed van druk op zoetere waters werd onderzocht door BOLT (1961). Hierbij werden geen kwaliteitsvariëaties waargenomen bij concentraties hoger dan 0,1 N NaCl ; slechts vanaf concentraties lager dan 0,015 N NaCl werd de invloed van de uitgeoefende druk merkbaar.

Dat de samenstelling van de uitgeperste poriënwaters overeenstemt met de waterkwaliteit in situ werd bovendien aangetoond in meerdere studies. MANHEIM (1973) vergeleek waterstalen uit sedimenten nabij de zeebodem met zeewater op die diepte. Als gevolg van diffusie mag worden verondersteld dat beide kwaliteiten gelijk zijn. Cl vertoonde slechts een afwijking van 1% ; de afwijkingen van de kationen vielen allen binnen de fout van de analysetechnieken.

Dat het poriënwater over het grootste deel van de persoperatie geen kwaliteitsveranderingen ondergaat bij uitoefening van druk kan worden verklaard door het feit dat de kwaliteitsbeïnvloedende processen zoals Donnan-effecten slechts werkzaam zijn in de dubbellagen nabij de uitwisselingsplaatsen. Deze zone is in zoute oplossingen zeer klein in vergelijking met het totale vloeistofvolume. Enkel bij een gering residueel vochtgehalte spelen deze zones een rol.

Bij verzadiging met zeer zoete waters zijn de dubbellagen omvangrijker zodat de Donnan-effecten een grotere rol spelen. Voor dergelijke sedimenten dient de kritische druk, of m.a.w. het veilige drukgebied, te worden bepaald.

5.6.2.3.2. Invloed van de temperatuur

Een grondige studie van mogelijke foutenbronnen in het kader van het Deep Sea Drilling Project (DSDP) toonde aan dat vooral temperatuurseffecten noemenswaardige kwaliteitsveranderingen van de poriënwaters kunnen veroorzaken. MANGELSDORF (1969) demonstreerde als eerste dat temperatuursvariëaties verantwoordelijk zijn voor veranderingen in de ionenuitwisselingsevenwichten waarbij monovalente ionen door het sediment worden afgegeven aan het poriënwater en divalente opgenomen uit het water. Ten gevolge van deze veranderingen wordt de elektrische neutraliteit verstoord waardoor bijkomende variëaties optreden. MANGELSDORF vond bij een temperatuursverhoging van 16 ° C (van 4 ° C (in situ temperatuur) naar 20 ° C (laboratoriumtemperatuur) een afwijking van -7% voor Ca + Mg, +1,5% voor Na, +25% voor K en -19% voor Sr. De voornaamste anionen werden weinig of niet beïnvloed.

Deze temperatuurseffekten werden bevestigd door PRESLEY (1969), BISHOFF et al. (1970), die evenwel kleinere afwijkingen vaststelden, en vervolgens uitgebreid voor Si door FANNING & PILSON (1971). MURTHY & FERRELL (1972) stelden irreversibele veranderingen in de samenstelling van poriënwaters vast bij de bewaring van de grondstalen bij temperaturen nabij het vriespunt.

Een gedetailleerd onderzoek van de temperatuurseffekten werd verricht door SAYLES et al. (1973) ; de resultaten ervan zijn samengevat in tabel 5.52.

Tabel 5.52 Temperatuursinvloed op de samenstelling van poriënwaters geperst uit kleiige sedimenten. Afwijkingen bij een temperatuursverhoging van 18 ° C (van 4 naar 22 ° C) (SAYLES et al.,1973).

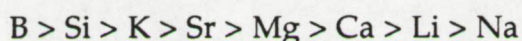
Element	Site 147		Site 148	
	percent	meq/l	percent	meq/l
K	+18,0	+1,4	+24,0	+1,8
Na	+0,9	+4,4	+1,3	+5,9
Ca	variabel	- 0,4	- 6,5	- 1,1
Mg	- 7,3	<u>- 5,1</u>	- 7,3	<u>- 6,2</u>
		$\Sigma = +0,3$		$\Sigma = +0,4$
B	+30,0		+61,0	
Si	+26,0		+41,0	
Li	- 3,0		+0,0	
Sr	- 19,0		- 7,0	
Cl	< +0,5		< +0,5	
SO ₄	< +0,5		< +0,5	

Op grond van de absolute concentratieveranderingen in meq/l kan de volgende reeks worden opgesteld, met afnemend belang van de temperatuurseffekten :

$$\text{Mg} > \text{Na} > \text{K} > \text{Ca} > \text{Si} > \text{Sr} > \text{B} > \text{Li}$$

waarbij de monovalente kationen een stijging vertonen met stijgende temperatuur, de divalente kationen een daling.

Procentueel geldt de volgende reeks :



De anionen vertonen weinig of geen variatie (< 0,5 %), zoals reeds aangegeven door MANGELSDORF (1969).

Onderzoek op sedimenten met uiteenlopende samenstelling gaf zoals verwacht de grootste afwijkingen voor kleiïge sedimenten als gevolg van de hoge kation-uitwisselingskapaciteit. In sedimenten met een zeer laag kleigehalte konden evenwel nog steeds belangrijke afwijkingen voor K worden vastgesteld.

De totale concentratie van de voornaamste kationen varieert slechts zeer weinig (< 0,5 meq/l) zodat de kwaliteitsveranderingen ten gevolge van temperatuurseffekten niet blijken uit de ionenbalans.

In tabel 5.53 zijn de waarden uit tabel 5.52 omgerekend naar procentuele variaties voor een temperatuurstijging van 1 ° C.

Uit deze tabel blijkt duidelijk dat de concentratieveranderingen van de voornaamste kationen (Na, K, Ca, Mg) kunnen worden verwaarloosd indien de grondstalen worden uitgeperst bij de in situ heersende temperatuur.

5.6.2.3.3. Besluit

Alhoewel het onderzoek met betrekking tot drukeffekten beschreven in de literatuur hoofdzakelijk betrekking heeft op brakke en zoute waters mag, indien wordt gewerkt met veilige drukken en slechts een deel van het poriënwater wordt uitgeperst, algemeen worden gesteld dat de poriënwatersamenstelling onveranderlijk blijft gedurende het grootste deel van de persoperatie en overeenstemt met de grondwaterkwaliteit in situ.

Van veel groter belang zijn de temperatuurseffekten die meer uitgesproken variaties in de kationverhoudingen kunnen veroorzaken. Het is dan ook noodzakelijk de poriënwaters te extraheren bij de in situ heersende temperatuur. Indien de temperatuursafwijking ten opzichte van deze in situ klein is zullen de concentratievariaties echter gering zijn. Bovendien zijn deze afwijkingen meestal te verwaarlozen ten opzichte van de natuurlijke kwaliteitsvariaties, zeker in kust-

Tabel 5.53 Temperatuursinvloed op de samenstelling van poriënwaters geperst uit kleiige sedimenten. Afwijkingen bij een temperatuursverhoging van 1 ° C (gegevens van SAYLES et al.,1973).

Element	<u>Site 147</u>		<u>Site 148</u>	
	percent	meq/l	percent	meq/l
K	+1,0	+0,08	+1,33	+0,10
Na	+0,05	+0,24	+0,07	+0,33
Ca	variabel	- 0,02	- 0,36	- 0,06
Mg	-0,41	- 0,28	- 0,41	- 0,34
B	+1,67		+3,39	
Si	+1,44		+2,28	
Li	- 0,17		+0,00	
Sr	- 1,06		- 0,39	
Cl	< +0,03		< +0,03	
SO ₄	< +0,03		< +0,03	

gebieden met sterk uiteenlopende waterkwaliteiten, zodat besluiten gebaseerd op de chemische samenstelling van geëxtraheerde poriënwaters blijven gelden.

Tenslotte dient te worden aangestipt dat onderzoek op geëxtraheerde poriënwaters slechts zo nauwkeurig kan zijn als de grondstalen waaruit de waterstalen worden verkregen dit toelaten. Talrijke foutenbronnen kunnen aanleiding geven tot slechte monsters, zoals kontaminatie tijdens de booroperatie, foute bewaring met eventueel evaporatie, kontaminatie in het laboratorium tijdens de behandeling van de grondstalen, e.a. .

Abnormale concentraties in de poriënwaters dienen dan ook in de eerste plaats te worden gezocht in deze fouten, eerder dan in drukverschijnselen of temperatuurs-effecten.

5.6.2.4. Praktische uitvoering

5.6.2.4.1. Monstername

Voor het verzamelen van de grondstalen dienden diverse boortechnieken te worden toegepast. Indien mogelijk werden de boringen manueel en zonder waterspoeling uitgevoerd.

De ondiepe boorgaten (tot 5 m) werden volledig droog verricht. Boven de waterspiegel werden grondstalen verzameld met behulp van zg. pF-ringen met diameter 5 cm. Beneden de waterspiegel werd gebruik gemaakt van een guts, waarmee continue stalen van ca. 0,5 m lengte werden gestoken. Slechts het centrale gedeelte (ca. 10 cm) werd voor verder onderzoek weerhouden.

Teneinde de monsters zo weinig mogelijk te verstoren werd steeds in een zuiver boorgat gewerkt.

Op grotere diepte werd het verzamelen van grondstalen bemoeilijkt daar niet langer een zuiver boorgat kon worden behouden. Bovendien zorgden dunne zandhoudende zones vaak voor het dichtslippen van het boorgat. Stijve materialen, waaronder de pleistocene kleileem (laag K2), lieten geen diepe penetratie met de guts toe. Om al deze redenen diende te worden gewerkt met manuele waterspoeling, waarbij dieptes van 15 m konden worden bereikt. Hierbij dienden evenwel voorzorgen te worden genomen om kontaminatie van de monsters met spoelwater te vermijden.

Het uitspoelen van het boorgat tot op de juiste diepte werd zo snel mogelijk uitgevoerd teneinde de infiltratie van spoelwater in het sediment te beperken. Gezien het doorboorde materiaal is opgebouwd uit fijnkorrelige sedimenten met een kleine doorlatendheid is deze infiltratie evenwel verwaarloosbaar klein.

Het spoelboren werd steeds beëindigd op ca. 20 cm boven de diepte van monstername, zodat het te nemen grondstaal zeker geen kontaminatie onderging. Vervolgens werd een monster van ca. 0,5 m lengte gestoken, waarna opnieuw slechts het centrale deel (ca. 10 cm) werd weerhouden.

Het boren in harde materialen, met name de Ieperiaanklei, diende te gebeuren met een mechanisch boortoestel geschikt voor het uitvoeren van droge boringen. Het boortoestel is reeds beschreven in paragraaf 2.2.2.2.1. ; de grondstalen werden verzameld met de spiraalboor. Beneden de watertafel, waar het boorgat dichtslibbing vertoonde, werd een verbuizing aangebracht.

Ondanks alle voorzorgen genomen tijdens het boren kan een zekere verstoring van de buitenzijde van de verzamelde grondstalen niet worden vermeden. Gestoken monsters in boringen met waterspoeling worden bij het bovenhalen "gekontamineerd" door de boorvloeistof in het boorgat. Monsters verkregen met behulp van de spiraalboor zijn steeds min of meer vervormd en verontreinigd aan de buitenzijde.

Vooraleer de grondstalen werden verpakt werd dan ook steeds de buitenste schil van het grondstaal verwijderd zo dat overal een vers snijvlak zichtbaar werd. Er kan dan worden gesproken van "niet-gekontamineerde" stalen.

De grondstalen werden verpakt in metalen pF-ringen (100 cc) die volledig met grond werden opgevuld. De ring werd omwikkeld met plastic huishoudfolie en grondig afgesloten met goed sluitende dekseltjes.

De stalen werden steeds de dag van monstername naar het laboratorium gevoerd.

5.6.2.4.2. Bewaring van de grondstalen

In het laboratorium werden de grondstalen onmiddellijk in een koelkast geplaatst. Om temperatuurseffekten bij het uitpersen te vermijden werd de temperatuur in de koelkast op ca. 8 ° C gehouden ; dit is dus iets beneden de in situ temperatuur van 11 ° C. Uit enkele rudimentaire proeven bleek immers dat de temperatuur van een grondstaal in een warmere omgeving vrij snel stijgt met 2 à 3 ° C, om vervolgens

eerder langzaam te verhogen. Bijgevolg konden de persoperaties dankzij deze voorzorgen nagenoeg bij in situ temperatuur gebeuren.

Om evaporatie of eventuele andere veranderingen in de grondstalen zo veel mogelijk te vermijden werd de bewaartijd steeds beperkt tot maximaal drie dagen. Met het oog hierop werden de grondstalen in reeksen van ca. 20 monsters verzameld. Pas nadat een reeks werd uitgeperst en geanalyseerd werden nieuwe boringen verricht.

5.6.2.4.3. Het uitpersen van de grondstalen

Het uitpersen van de grondstalen geschiedde volgens de in paragraaf 5.6.2.2. opgesomde handelingen.

Bij het uitpersen van de grondstalen werd de behandeling ervan zo snel mogelijk verricht om evaporatie en temperatuurseffekten te vermijden. Alle voorzorgen om kontaminatie te voorkomen werden genomen.

Met het oog op drukverschijnselen werden de stalen steeds bij een zo laag mogelijke druk uitgeperst. Meestal werd een druk beneden 150 kg/cm^2 aangewend ; bij meer kompakte materialen (Duinkerke- en Ieperiaanklei) werd de druk verhoogd tot maximaal 300 kg/cm^2 . Deze drukken liggen ver beneden de kritische drukken vermeld in de literatuur. Het zoutgehalte van de zoete waters ligt bovendien steeds vrij hoog en schommelt meestal rond 1000 mg/l .

Er mag dan ook worden gesteld dat zelfs voor de zoete poriënwaters geen drukverschijnselen zijn opgetreden.

Bij aanvang van de persoperatie werd de uitgeoefende druk slechts langzaam verhoogd. Immers, een te snelle toename van de druk, of het onmiddellijk uitoefenen van een hoge druk kan leiden tot het droogpersen van de onderste zone van het grondstaal. Een sterk gekompakteerde basiszone is niet enkel nefast voor de waterafgifte van het sediment, doch kan ook aanleiding geven tot zoutfiltratie (MANHEIM, 1966 ; KHARAKA & BERRY, 1973 ; HANSHAW & COPLEN, 1973).

Het perstoestel werd na elke persoperatie grondig gereinigd, afgespoeld met gedistilleerd water en nagespoeld met aceton teneinde een snellere droging te verkrijgen.

Diverse materialen, gaande van zeer waterrijk veen tot weinig doorlatende stijve klei, werden uitgeperst. Voor plastische en waterrijke sedimenten leverde de extraktie van het poriënwater geen enkel probleem. In een tijdsspanne van 5 tot 30 min werden volumes tot 15 ml verkregen.

De extraktie uit stijve sedimenten, en zeker uit de Ieperiaanklei, was tijdrovend en leverde slechts een vrij gering volume op (tot 3 ml). Er diende dan ook te worden gezocht naar een techniek om de waterafgifte van deze sedimenten te verhogen. De resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in tabel 5.54.

Tabel 5.54 Geëxtraheerd poriënwatervolume uit stijve klei, in normale omstandigheden en na aanwending van speciale technieken. De maximale druk bedraagt 300 kg/cm².

Tijd (min)	Geëxtraheerd volume in ml		
	Normale klei	Klei met kanaaltjes van filtreerpapier	Klei met kanaaltjes van glasporels
3'	0,2	1,0	1,5
7'	1,0	2,0	3,7
12'	1,4	2,8	5,1
15'	1,6	3,1	6,0
18'	2,0	3,6	6,5
23'	2,2	4,1	7,1
28'	2,6	4,8	8,0
31'	3,0	5,0	8,2
45'	3,2	5,5	9,0

Uit deze tabel blijkt duidelijk het effect van het aanbrengen van doorlatende kanaaltjes op het maximaal te extraheren volume en op de snelheid van extraktie. Kanaaltjes gevuld met glasporels geven een beter resultaat dan deze uit filtreerpapier daar ze minder vatbaar zijn voor vervorming en hun oorspronkelijke diameter behouden tijdens de persoperatie.

Een bijkomend voordeel van de kanaaltjes is dat de basiszone van het grondstaal niet zo sterk wordt gekompakteerd zodat een eventuele zoutfiltratie in deze zone kan worden vermeden.

De sedimenthoogte werd benaderend 3 cm genomen. Een kleinere sedimenthoogte levert een te klein poriënwatervolume. Het voordeel van een grotere sedimenthoogte is gering.

5.6.2.4.4. Bewaring van de poriënwaters

Telkens nadat voldoende vloeistof werd vergaard werd de injectiespuit afgesloten en bewaard in de koelkast. Na het uitpersen van alle grondstalen van een reeks werden de injectiespuiten geledigd in glazen reageerbuisjes voor verdere analyse. De geleidbaarheid, het chloridegehalte en het bicarbonaatgehalte werden steeds onmiddellijk bepaald. De reageerbuisjes werden vervolgens afgesloten en voor verdere analyse bewaard in de koelkast.

5.6.2.4.5. Chemische analyse van de uitgeperste poriënwaters

Het eerste opzet van het uitgevoerde onderzoek was de bepaling van het zoutgehalte van de uitgeperste poriënwaters om aldus door vergelijking met de resistiviteitsmetingen met de lange normale opstelling informatie te verzamelen over de formatiefaktor van fijnkorrelige afzettingen. Met deze kennis is een ijking van de boorgatmetingen in deze sedimenten mogelijk.

Het totale zoutgehalte (in mg/l) kan worden afgeleid uit de bepaling van de geleidbaarheid van het uitgeperste water in ($\mu\text{S}/\text{cm}$); beide grootheden staan immers in relatie met elkaar volgens de betrekking :

$$\text{TDS} = \text{Geleidbaarheid bij } 11^\circ\text{C} \quad (5.43)$$

De geleidbaarheid werd bepaald met een meetcel gekenmerkt door een kleine diameter ($\varnothing = 13 \text{ mm}$) en een grote lengte, waardoor meting in reageerbuisjes mogelijk is. Op deze manier kon de geleidbaarheid van kleine vloeistofvolumes worden bepaald ; het minimaal vereist volume bedroeg ca. 3 ml. De in de handel verkrijgbare doorstroom-meetcellen konden niet worden aangewend : ze laten toe de geleidbaarheid te bepalen van zeer kleine volumes ($< 0,5 \text{ ml}$), doch vertonen meestal extreem grote celkonstanten ($c = 10-170$), wat aanleiding geeft tot grote afwijkingen op het meetresultaat. De gebruikte meetcel bezit daarentegen een normale celkonstante ($c = 0,985$).

Tijdens het onderzoek bleek de mogelijkheid voor een relatief uitgebreide chemische analyse op de waterstalen. De klassieke analysetechnieken aangewend op grote volumes konden mits de nodige voorzichtigheid en enkele aanpassingen worden toegepast op de kleine geëxtraheerde volumes.

Om deze analyses zo nauwkeurig mogelijk te laten gebeuren en om bepaalde parameters tweemaal te analyseren werd steeds getracht een volume van ca. 10 ml door extraktie te bekomen, zonder evenwel de voorzorgen i.v.m. drukverschijnselen te verwaarlozen. Voor veenhoudende en zandhoudende sedimenten was dit meestal geen probleem. Voor stijve kleien, en zeker voor de leperiaanklei, dienden soms twee grondstalen afkomstig van dezelfde diepte te worden uitgeperst, wat de tijdsduur voor het verkrijgen van het waterstaal aanzienlijk verhoogde. Dit probleem kan in de toekomst worden opgelost door het aanwenden van perstoestellen met een grotere diameter (bv. 9,0 cm).

De volgende chemische parameters werden bepaald : de geleidbaarheid, de concentratie van de voornaamste kationen Na, K, Ca, Mg, en de concentratie van de voornaamste anionen Cl, SO₄ en HCO₃. Het totale gehalte aan opgeloste stoffen (TDS) kon hieruit benaderend worden berekend, net als de totale hardheid (TH).

5.6.3. Resultaten

In het totaal werden 148 grondstalen verzameld en in het laboratorium uitgeperst. De analyseresultaten zijn gegeven in bijlage 5. . De verzamelde gegevens lieten toe het kwaliteitsonderzoek uit te breiden naar de weinig doorlatende poelgebieden.

De kennis van het totale gehalte aan opgeloste stoffen TDS van het water in de fijnkorrelige sedimenten laat toe de resistiviteit van dit water te begroten. Vergelijking van deze poriënwaterresistiviteit met de resistiviteit gemeten in het boorgat levert informatie over de variatie van de formatiefaktor met de waterkwaliteit, waardoor op hun beurt de boorgatmetingen kunnen worden geijkt voor deze sedimenten.

De chemische samenstelling van het grondwater laat toe een inzicht te verwerven in de evolutie van de grondwaterkwaliteit in de westelijke kustvlakte. Het grondwater in de poelgebieden vertoont waarschijnlijk nog sporen van alle evolutiestadia die het grondwater heeft ondergaan, dit als gevolg van de geringe grondwaterstroming in deze gronden. Dit was niet het geval voor de zandige

kreeksedimenten, waar de samenstelling van het grondwater in hoofdzaak is bepaald na de definitieve terugtrekking van de zee, na het Subatlanticum.

68 grondstalen zijn afkomstig uit 8 boringen volgens een dwarsdoorsnede doorheen de IJzervallei te Elzendamme. Het opstellen van een doorsnede laat toe de grondwaterkwaliteit op één plaats zeer nauwkeurig te bestuderen. De overige 80 grondstalen zijn verspreid over de westelijke kustvlakte verzameld. De boorplaatsen werden zo gekozen dat het ganse studiegebied werd bestreken, vanaf de Frans-Belgische grens tot Avekapelle. Op deze wijze kunnen de tendenzen, afgeleid uit de gedetailleerde doorsnede, worden uitgebreid tot de gehele IJzervlakte.

5.6.4. Hydrochemie van het grondwater in de fijnkorrelige poelgebieden

5.6.4.1. Boorgatmetingen

5.6.4.1.1. Algemeen

Zoals reeds aangestipt in paragraaf 5.5.1.1.4. is de evaluatie van de reservoir-karakteristieken uit resistiviteitsmetingen in het boorgat hoofdzakelijk gebaseerd op het werk van ARCHIE (1942). Voor een klei-vrij sediment geldt bij volledige verzadiging de volgende relatie tussen poriënwaterresistiviteit ρ_w en formatie-resistiviteit ρ_t :

$$\rho_t = F \cdot \rho_w \quad (5.32)$$

Hierbij is de formatiefactor F konstant en onafhankelijk van de concentratie van het elektrolyt. De formatiefactor beschrijft dus enkel de geometrie van de afzetting en levert geen informatie over de karakteristieken van de verzadigende oplossing.

In kleihoudende sedimenten wordt evenwel een variatie van de formatiefactor met de samenstelling van het poriënwater vastgesteld (DAKHNOV, 1962 ; WORTHINGTON, 1986, e.a.) ; de verhouding ρ_t / ρ_w stemt voor deze sedimenten niet langer overeen met één welbepaalde intrinsieke formatiefactor F . De veranderingen met ρ_w zijn het meest uitgesproken naarmate het kleigehalte in het sediment toeneemt ; ze zijn het gevolg van een bijkomende geleiding van de elektrische stroom langs het oppervlak van de kleideeltjes enerzijds en van kationuitwisseling anderzijds (DAKHNOV, 1962). De formatiefactor neemt in het algemeen af met toenemende poriënwaterresistiviteit.

Het klei-effekt kan worden voorgesteld door een bijkomende konduktiviteits-parameter X in de vergelijking van ARCHIE (WORTHINGTON, 1986) :

$$F = \frac{\rho_t}{\rho_w} \cdot (1 - X \cdot \rho_t)^{-1} \quad (5.44)$$

De verhouding ρ_t / ρ_w in deze vergelijking definieert een schijnbare formatiefactor F_a . Voor zuiver zand is $X = 0$, waardoor de vergelijking van ARCHIE geldt. Met toenemend kleigehalte wordt X groter en daalt bijgevolg de schijnbare formatiefactor F_a . Volgens WORTHINGTON kan F_a nooit groter zijn dan F . Het is evenwel aangetoond dat bij verzadiging met zeer zoute waters de resistiviteit in kleihoudende sedimenten toeneemt in vergelijking met klei-vrije sedimenten, dit als gevolg van kationuitwisseling en een toenemende viscositeit van het water in de dubbellagen van de kleideeltjes (DAKHNOV, 1962). In dit geval is X negatief (afnemende geleidbaarheid) en F_a groter dan F .

De verhouding F_a / F geeft de fraktie van de geleiding welke niet kan worden toegekend aan klei-effekten. Voor een sediment met laag kleigehalte nadert F_a / F de waarde 1 ; met toenemend kleigehalte wordt F_a veel kleiner dan F en $F_a / F \ll 1$. De verhouding neemt bovendien af met toenemende poriënwaterresistiviteit. Dit wordt aangetoond in figuur 5.39. waar deze verhouding is uitgezet in functie van ρ_w voor sedimenten met een uiteenlopend kleigehalte. In deze figuur wijkt F_a duidelijk af van F bij hoge waarden voor ρ_w en hoge kleigehalten ; beide formatiefactoren zijn nagenoeg gelijk voor sedimenten met laag kleigehalte of bij verzadiging met zeer zout water.

De figuur geeft aan dat toepassing van de vergelijking van ARCHIE slechts verantwoord is voor nagenoeg klei-vrije sedimenten of voor sedimenten verzadigd met zout water. In alle andere gevallen dient een andere relatie tussen ρ_w en ρ_t te worden aangewend, waarbij rekening wordt gehouden met de schijnbare formatiefactor F_a .

De waterstalen die met behulp van de perstechniek uit de fijnkorrelige sedimenten werden geëxtraheerd laten thans toe informatie te verzamelen over de variatie van de schijnbare formatiefactor F_a met de samenstelling van het poriënwater en aldus een eenduidige relatie tussen ρ_w en ρ_t op te stellen voor deze fijne afzettingen.

5.6.4.1.2. Variatie van de schijnbare formatiefactor F_a met de poriënwaterkwaliteit

Voor de bepaling van de schijnbare formatiefactor F_a werd gebruik gemaakt van de in de vorige paragraaf gegeven relatie :

$$F_a = \frac{\rho_t}{\rho_w} \quad (5.44)$$

F_a kan bijgevolg worden afgeleid door vergelijking van de formatieresistiviteit met de poriënwaterresistiviteit.

Met behulp van de perstechniek werd de poriënwaterresistiviteit van 115 waterstalen bepaald. Dit was mogelijk door omrekening van de op de waterstalen gemeten geleidbaarheid. In de boorgaten, waaruit de grondstalen afkomstig zijn, werden resistiviteitsmetingen met de lange normale opstelling verricht. De verhouding tussen beide resistiviteiten op één welbepaalde diepte leverde een waarde voor F_a .

De afgeleide schijnbare formatiefactoren zijn uitgezet in functie van de poriënwaterresistiviteit ρ_w in figuur 5.40. en 5.41. . Om de variatie van de formatiefactor met de resistiviteit duidelijk tot uiting te laten komen werd in de eerste figuur gebruik gemaakt van een semi-logaritmisch verband. In de figuur stemmen hoge resistiviteitswaarden overeen met lage formatiefactoren ; met afnemende poriënwaterresistiviteit (toenemend zoutgehalte) nemen de waarden voor de formatiefactor duidelijk toe. Bij verzadiging met zout water ($\rho_w < 0,5$ ohmm) kunnen formatiefactoren worden waargenomen die hoger zijn dan deze voor de zandige sedimenten in de kreekgebieden. Deze vaststelling is in overeenstemming met de bevindingen van DAKHNOV (1962) : F_a kan wel degelijk hoger zijn dan F .

Zoals blijkt uit figuur 5.41. is het verband tussen $\log F_a$ en $\log \rho_w$ lineair en van de vorm :

$$\log F_a = A + B \cdot \log \rho_w \quad (5.45)$$

De formatiefactoren werden gegroepeerd in de waterkwaliteitsklassen volgens DE MOOR en DE BREUCK (1969) ; zeven klassen worden onderscheiden :

-	klasse 1 :	$\rho_w > 25,0 \Omega m$	(TDS < 400 mg/l)
-	klasse 2 :	$25,0 \Omega m > \rho_w > 12,5 \Omega m$	(400 mg/l < TDS < 800 mg/l)
-	klasse 3 :	$12,5 \Omega m > \rho_w > 6,25 \Omega m$	(800 mg/l < TDS < 1.600 mg/l)
-	klasse 4 :	$6,25 \Omega m > \rho_w > 3,12 \Omega m$	(1.600 mg/l < TDS < 3.200 mg/l)
-	klasse 5 :	$3,12 \Omega m > \rho_w > 1,56 \Omega m$	(3.200 mg/l < TDS < 6.400 mg/l)
-	klasse 6 :	$1,56 \Omega m > \rho_w > 0,78 \Omega m$	(6.400 mg/l < TDS < 12.800 mg/l)
-	klasse 7 :	$\rho_w < 0,78 \Omega m$	(TDS > 12.800 mg/l)

De gemiddelde formatiefactor per kwaliteitsklasse is gegeven in tabel 5.55.

Tabel 5.55. Schijnbare formatiefactor in fijnkorrelige afzettingen in functie van de poriënwatersamenstelling.

Klasse	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
1	3	0,86	0,28	0,33	0,67	1,18
2	12	1,18	0,25	0,21	0,93	1,59
3	27	1,46	0,41	0,28	0,92	2,52
4	21	1,67	0,40	0,24	1,09	2,56
5	22	2,00	0,28	0,14	1,52	2,55
6	17	2,71	0,42	0,16	2,10	3,56
7	13	4,25	0,76	0,18	3,21	5,54

Uit de tabel en uit figuur 5.40. blijkt dat de formatiefactor slechts langzaam toeneemt met afnemende poriënwaterresistiviteit tot aan klasse 6 (zeer brak water), waarna de waarde van de formatiefactor een snelle stijging vertoont. Voor klasse 7 is de formatiefactor gelijk aan deze gevonden voor de zandige sedimenten in de Avekapellekreek. Toepassing van de vergelijking van ARCHIE op de fijnkorrelige sedimenten, gebruik makend van de formatiefactor voor de zandige kreekafzettingen, zou bijgevolg slechts een geringe afwijking geven voor de zones met zout grondwater. De zones met zoet en brak water zouden volgens deze vergelijking een te hoog zoutgehalte toegekend krijgen.

5.6.4.1.3. Vertaling van de formatieresistiviteit naar totaal zoutgehalte TDS

Om het verband tussen de formatieresistiviteit en het totale zoutgehalte TDS te bepalen werd gekozen voor een rechtstreeks verband tussen ρ_t en ρ_w , eerder dan een omweg via F_a . De relatie met TDS wordt dan verkregen met behulp van de vergelijking :

$$TDS = \frac{10.000}{\rho_w}$$

Het verband tussen $\log \rho_t$ en $\log \rho_w$ blijkt lineair (fig. 5.42.) ; de vergelijking van de rechte werd verkregen door het toepassen van een regressie-analyse. De vergelijking is van de vorm :

$$\log \rho_w = A + B \cdot \log \rho_t \quad (5.46)$$

De konstanten A en B en de statistische gegevens zijn als volgt :

A	- 0,7033618
B	+1,483064
A std.	0,0408418
B std.	0,0457581
std. est.	0,1508727
R-squared	0,9044314
covariance	0,1439551
F-test	1050,471
corr. coeff.	0,9510161
durbin-watson	0,6932625

Op figuur 5.42. is de overeenkomstige rechte uitgezet. In vroegere studies (LEBBE, 1978 ; LEBBE & PEDE, 1986 ; e.a.) was geen informatie over het gedrag van de formatiefaktor in fijnkorrelige afzettingen beschikbaar, voor deze afzettingen werd dan ook gewoon de vergelijking van ARCHIE toegepast, met als gemiddelde formatiefaktor 4,0 ; dit is een algemeen aanvaarde formatiefaktor voor kwartaire zandige afzettingen. De hiermee overeenstemmende rechte (vergelijking $\rho_w = \rho_t / 4$) is eveneens op de figuur aangeduid, net als de rechte welke de vergelijking van

ARCHIE geeft met een gemiddelde formatiefactor van 2,0 , zijnde het gemiddelde van de 115 in deze studie afgeleide formatiefactoren.

Uit figuur 5.42. blijkt dat de toepassing van de vergelijking van ARCHIE, met een gemiddelde formatiefactor afgeleid voor zand, slechts een betrouwbare schatting van ρ_w uit ρ_t oplevert voor sedimenten verzadigd met zout water ($\rho_w < 0,78$ ohmm). In alle andere gevallen levert deze vergelijking een te hoog zoutgehalte op. De toepassing van de vergelijking van ARCHIE met een gemiddelde formatiefactor voor fijnkorrelige afzettingen (in ons geval 2,0) geeft reeds een verbetering : de rechte is duidelijk naar de puntenwolk toe verschoven. Het verloop van de rechte t.o.v. de puntenwolk toont evenwel duidelijk aan dat de vergelijking van ARCHIE geen rekening houdt met de variatie van de formatiefactor met de poriën-watersamenstelling. Immers, slechts voor de brakke waters kan een betrouwbare schatting van ρ_w uit ρ_t worden bekomen. Voor sedimenten verzadigd met zoet water wordt het zoutgehalte van het poriënwater te zout ingeschat ; bij verzadiging met zout water wordt het omgekeerde effect vastgesteld.

Het betere resultaat dat wordt verkregen met de opgestelde relatie tussen ρ_w en ρ_t blijkt duidelijk in de figuur. Voor alle waterkwaliteiten kan thans het zoutgehalte vrij nauwkeurig worden ingeschat.

De toegenomen nauwkeurigheid wordt geïllustreerd in figuur 5.43. . In de figuur is voor de opgestelde relatie de konfidentiëlimiet van 95% aangeduid, enerzijds voor Y_{gem} en anderzijds voor Y_i , zijnde een willekeurige waarde van Y . Deze konfidentiëlimieten zijn als volgt gedefinieerd :

$$- \text{konfidentiëlimiet voor } Y_{gem} : \text{konf } Y_{gem} = Y_{gem} \pm (t \cdot s_{\bar{y}/x}) \quad (5.47)$$

met t = t-waarde voor de betreffende limiet ($t_{0,025}$ voor konf. 95%)

$$s_{\bar{y}/x}^2 = \frac{(s_{y/x}^2)}{n} \quad (5.48)$$

$$s_{y/x}^2 = \frac{\sum \epsilon_i^2}{n-2} \quad (5.49)$$

$$- \text{konfidentiëlimiet voor } Y_i : \text{konf } Y_i = Y_i \pm (t \cdot s_{y_i}) \quad (5.50)$$

met t = t-waarde voor de betreffende limiet ($t_{0,025}$ voor konf. 95%)

$$s_{y_i}^2 = s_{y/x}^2 \cdot [1/n + \frac{(x_i - \bar{x})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}] \quad (5.51)$$

Op de figuur is eveneens de overeenkomstige limiet (95%) voorgesteld voor de gewone vergelijking van ARCHIE, met als gemiddelde formatiefaktor het gemiddelde van de 115 waarden : $F = 2,0$.

De band, welke de konfidentielimiet van 95 % weergeeft is duidelijk smaller voor de nieuw opgestelde relatie dan voor de vergelijking van ARCHIE. De schatting van het totale zoutgehalte uit de formatieresistiviteit kan met behulp van de nieuwe relatie bijgevolg nauwkeuriger gebeuren.

Ter vergelijking werd ook voor de zandige kreekafzettingen een relatie tussen ρ_w en ρ_t opgesteld ; ze is eveneens van de vorm :

$$\log \rho_w = A + B \cdot \log \rho_t \quad (5.46)$$

De konstanten A en B en de statistische gegevens zijn als volgt :

A	- 0,7323219
B	+1,46174
A std.	0,0352889
B std.	0,0273945
std. est.	0,0966529
R-squared	0,9765697
covariance	0,331807
F-test	1750,551
corr. coeff.	0,9882154
durbin-watson	1,877527

De overeenkomstige rechte en de rechte korresponderend met de vergelijking van ARCHIE voor een gemiddelde formatiefaktor van 3,81 (gemiddelde van de formatiefactoren van Avekapellekreek en IJzerkreek) zijn voorgesteld op figuur 5.44. . Het verschil tussen beide is gering, slechts aan de zoute waters wordt met behulp van de ARCHIE-vergelijking een iets te hoog zoutgehalte toegekend. Dat de beide rechten niet samenvallen is te wijten aan het feit dat het zand in de kreekgebieden niet zuiver is, doch steeds een weinig klei bevat.

De 95 % konfidentielimieten voor de beide rechten zijn voorgesteld op figuur 5.45. ; ze zijn op de hierboven beschreven wijze gedefinieerd. De breedte van de konfidentiebanden is voor beide vergelijkingen slechts weinig verschillend ; de nauwkeurigheid van de bepaling van ρ_w uit ρ_t kan door het opstellen van een rechtstreeks verband tussen ρ_w uit ρ_t slechts weinig worden verhoogd.

Indien wordt rekening gehouden met de fouten op de meting van de formatieresistiviteit in het boorgat (fouten op de elektrische toestellen, slechte contacten tussen elektroden en grondoppervlak, fouten op de aflezing, e.a.) mag worden gesteld dat de vergelijking van ARCHIE zeker geldig is voor zandige afzettingen, zelfs indien deze een weinig klei bevatten.

Voor fijnkorrelige afzettingen dienen nieuwe relaties te worden opgesteld.

5.6.4.1.4. Afleiding van de zoetwaterpercentages

De zoetwaterpercentages worden afgeleid zoals beschreven in paragraaf 5.5.1.3. Thans wordt bij de omzetting van ρ_w naar ρ_t echter gebruik gemaakt van de nieuw opgestelde relatie. De formatieresistiviteiten overeenstemmend met de gewenste zoetwaterpercentages zijn opgenomen in tabel 5.56. Ter vergelijking zijn de overeenkomstige resistiviteiten geldend voor zandige afzettingen eveneens gegeven.

Tabel 5.56. Zoetwaterpercentages, TDS-waarden, poriënwaterresistiviteiten en formatieresistiviteiten voor de fijnkorrelige poelgebieden en de zandige kreeksedimenten.

Zoetwater- percentage (%)	TDS (mg/l)	ρ_w (bij 11 °C) (Ωm)	ρ_t (Ωm) poelgebied	ρ_t (Ωm) IJ 'kreek	ρ_t (Ωm) Ave 'kreek
100	375	26,67	27,28	85,33	112,00
99	658	15,20	18,67	48,63	63,85
95	1.791	5,58	9,50	17,86	23,45
84	4.907	2,04	4,82	6,53	8,56
50	14.538	0,69	2,32	2,21	2,89
1	28.417	0,35	1,48	1,13	1,48
0	28.700	0,35	1,46	1,11	1,46

Ter verduidelijking wordt de in het bestek van deze studie aangewende benaming voor de verschillende grondwaterklassen, gesteund op de klassificatie van DE MOOR en DE BREUCK (1969), nogmaals herhaald :

- zoetwaterpercentage groter dan 95% : zoet water ;
- zoetwaterpercentage tussen 95 en 84% : matig brak water;
- zoetwaterpercentage tussen 84 en 50% : brak tot zeer brak water;
- zoetwaterpercentage kleiner dan 50% : zout water.

5.6.4.1.5. Controle van de juistheid van de nieuw opgestelde relatie

Op plaat 5.20. zijn drie doorsneden met lijnen van gelijk zoetwaterpercentage langsheen dezelfde raai voorgesteld. Het betreft de dwarsdoorsnede doorheen de IJzervallei te Elzendamme (plaat 2.9).

In de bovenste doorsnede (doorsnede A) zijn de lijnen van gelijk zoetwaterpercentage getekend rechtstreeks op basis van de TDS-waarden bepaald op de geëxtraheerde poriënwaters. Met het oog hierop werden in 8 boringen langsheen deze doorsnede 68 grondstalen verzameld. De voorgestelde zoetwaterpercentages zijn voor deze doorsnede bijgevolg geen geschatte percentages, doch stemmen overeen met de werkelijk aanwezige grondwaterkwaliteit die zou moeten worden gevonden met behulp van de boorgatmetingen.

De tweede doorsnede (doorsnede B) geeft de zoetwaterpercentages berekend met de vergelijking van ARCHIE, waarbij wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde formatiefaktor voor de zandige afzettingen in de IJzerkreek ($F = 3,2$). De voorgestelde zoet-zout water verdeling is deze die, zonder bijkomend onderzoek op de fijnkorrelige afzettingen, zou zijn bekomen. Het is een resistiviteitsdoorsnede zoals die tot op heden werd opgesteld.

De onderste doorsnede (doorsnede C) toont de zoetwaterpercentages berekend met de nieuw opgestelde relatie tussen ρ_w en ρ_t voor fijnkorrelige afzettingen.

Doorsnede A toont aan dat het grootste deel van de IJzervallei te Elzendamme verzadigd is met brak tot zeer brak water. Zout grondwater is niet aanwezig.

Slechts ter hoogte van de IJzerkreek wordt een belangrijke zoetwatervoorraad aangetroffen ; het zoete water reikt er tot een diepte van ca. 6 m. De kreek is als gevolg van de hogere topografische positie van het maaiveld en het hoofdzakelijk

zandige karakter van de sedimenten gekenmerkt door een vrij belangrijke infiltratie van neerslagwater. Ter hoogte van de omliggende poelgebieden is zoet water slechts aanwezig in een dunne zone nabij de watertafel. Naar de randen van de IJzervallei reikt het zoete water dieper (tot op het ondiep voorkomend ondoorlatend substraat), mede door de afvloeit van zoet water vanuit de omringende zandleemstreek.

In doorsnede B, opgesteld aan de hand van de vergelijking van ARCHIE, wordt hetzelfde algemene beeld verkregen. Brak tot zeer brak water is nog steeds de belangrijkste waterkwaliteit en zoet water komt slechts in belangrijke mate voor in de IJzercreek. In vergelijking met doorsnede A kunnen evenwel een aantal belangrijke verschillen worden vastgesteld. In doorsnede B reikt matig brak water tot aan de watertafel in de poelgebieden. Zoet water wordt er niet aangetroffen, zelfs niet aan de randen van de IJzervallei. De bovengrens van het brakke tot zeer brakke water is duidelijk hoger gesitueerd.

De vergelijking van beide doorsneden toont nogmaals aan dat bij de toepassing van de formule van ARCHIE op fijnkorrelige afzettingen het zoete water te zout wordt ingeschat. Daar waar in werkelijkheid zoet water aanwezig is wordt matig brak water verondersteld.

Doorsnede C, opgesteld aan de hand van de nieuwe relatie, stemt zeer goed overeen met de werkelijke toestand zoals weergegeven in doorsnede A. De lijnen van gelijk zoetwaterpercentage zijn nog steeds iets te hoog gesitueerd, doch het zoete water nabij de watertafel in de poldergronden komt thans in de doorsnede tot uiting. Ook het dieper voorkomen van zoet water aan de randen van de vallei is in de doorsnede waar te nemen.

Er mag dan ook worden besloten dat, met de opgestelde relatie, boorgatmetingen ook voor fijnkorrelige sedimenten een zeer akkuraat beeld geven van de zoet-zout water verdeling.

5.6.4.1.6. De zoet-zout water verdeling in de fijnkorrelige poelgebieden

5.6.4.1.6.1. De IJzervlakte te Avekapelle - Pervijze

In het gebied rond Avekapelle was het onderzoek vooral toegespitst op de Avekapellekreek ; een gedetailleerde doorsnede doorheen de poelgebieden is voor deze streek niet beschikbaar. In de doorsneden doorheen de Avekapellekreek (plaat 5.1. tot 5.3.) werd evenwel steeds een deel van de poelgebieden aangesneden,

waardoor toch een inzicht kan worden verkregen in de zoet-zout water verdeling in de omliggende poelgebieden (zie ook par. 5.5.1.6.2.).

Zoet grondwater is in de poelgebieden slechts aanwezig in een ca. 0,5 m dikke zone nabij de watertafel. Zout water (zoetwaterpercentage < 50%) wordt reeds aangetroffen op een diepte van 3 m ; vanaf 5 m diepte komt zeer zout water, overeenstemmend met een zoetwaterpercentage van minder dan 1% (zoutgehalte tot 29.000 mg/l), voor. Zout water is waarschijnlijk de enige grondwaterkwaliteit die een belangrijke uitbreiding kent in dit gebied. De poelgebieden hebben er bijgevolg nog nagenoeg geen verzoeting ondergaan.

Slechts in de nabijheid van de Avekapellekreek kunnen minder zoute waters worden aangetroffen (par. 5.5.1.6.2.). Ze zijn het gevolg van de ondergrondse afstroming van zoet water uit de kreek naar de lager gelegen poelgebieden.

5.6.4.1.6.2. De IJzervlakte te Driekapelle - Noordschote

De zoet-zoutwaterverdeling in deze poelgebieden wordt geïllustreerd op plaat 5.22. ; hierop is een doorsnede doorheen de IJzercreek en de poelgebieden te Noordschote voorgesteld.

In de doorsnede zijn niet alle percentages aanwezig : de lijn van 1% wordt er niet aangetroffen. Het gebied vertoont bijgevolg een lager zoutgehalte dan dit rond Avekapelle.

Twee duidelijk verschillende delen kunnen worden onderscheiden : enerzijds de IJzercreek met een uitgesproken neerslagwaterinfiltratie ten noorden van de IJzer en anderzijds de poelgebieden met weinig of geen neerslaginfiltratie ten zuiden van de IJzer .

Het gebied ten noorden van de IJzer is in hoofdzaak gekenmerkt door het voorkomen van zoet grondwater. De zoetwaterlens bereikt in de IJzercreek een maximale dikte van 16 m. De diepte tot waar het zoete water reikt is vrij onregelmatig daar de zandige kreeksedimenten niet overal dezelfde dikte bereiken. De boring SB12, gesitueerd nabij de IJzer, is gekenmerkt door in hoofdzaak zoet water hoewel deze boring is uitgevoerd in een lager gelegen poelgebied. Het lage zoutgehalte van het grondwater is hier het gevolg van de ondergrondse afstroming van zoet water uit de IJzercreek naar de IJzer toe. De zoetwaterlens strekt zich in zuidelijke richting dan ook slechts uit tot aan de IJzer. De opwaartse grondwater-

stroming onder de IJzer wordt geïllustreerd door het zeer snelle oprijzen van het matig brakke water op die plaats.

Ten noorden van de IJzerkreek zijn de laag gelegen poelgebieden aan de basis verzadigd met brak tot zeer brak water. De zoetwaterzone nabij de watertafel bereikt er een dikte van ca. 2 m.

De weinig doorlatende sedimenten onder de IJzerkreek (bv. boring SB9) vertonen op een diepte van 11 m het voorkomen van zout water met een zoetwater-percentages tussen 50 en 1%. Opmerkelijk is dat met verder toenemende diepte het zoutgehalte van het grondwater opnieuw afneemt ; het zoute water gaat over in brak tot zeer brak water. Dit verschijnsel is geen gevolg van een foutieve interpretatie van de boorgatmetingen als gevolg van litologische variaties. Deze worden, zoals hoger aangetoond, geëlimineerd door de nieuw opgestelde relatie.

Zoals zal worden uiteengezet in paragraaf 5.6.4.2.4. blijkt dit verschijnsel samen te hangen met de kwaliteitsevolutie die het grondwater heeft ondergaan. De pleistocene kleileem (laag K2) is steeds gekenmerkt door een afnemend zoutgehalte naar het ondoorlatend substraat toe.

De laaggelegen poelgebieden ten zuiden van de IJzer zijn hoofdzakelijk verzadigd met brak tot zeer brak grondwater dat plaatselijk dicht onder de watertafel voorkomt. Aan de watertafel is steeds zoet water aanwezig. De dikte van dit zoetewater bedraagt in het centrale deel van de poelgebieden slechts ca. 0,5 m, doch neemt toe in de richting van de IJzer alsook naar de rand van de IJzervlakte, in de richting van de aangrenzende zandleemstreek. De grotere uitbreiding van het zoete water nabij de IJzer is het gevolg van het voorkomen van een smalle uitloper van de IJzerkreek in die zone. De kreeksedimenten bereiken er een dikte van ca. 5 m. Wegens de geringe breedte van deze uitloper, het lemige karakter van de samenstellende sedimenten en de relatief lage topografie kan zich geen uitgebreide zoetwatervoorraad in deze uitloper vormen ; de dikte ervan blijft dan ook beperkt tot ca. 2,0 m. De aanwezige waterkwaliteit betreft hoofdzakelijk matig brak water.

De ondergrondse stroming van zoet water uit de hoger gelegen zandleemstreek naar de lage polders maakt dat aan de rand van de IJzervlakte de zoetwatervoorraad een dikte van 5 m kan bereiken. Brak tot zeer brak grondwater is er teruggedrongen naar de basis van het kwartaire grondwaterreservoir.

Zout water is in dit gebied nog lokaal aanwezig (boringen SB19, SB16 en SB17). Het zoute grondwater reikt het hoogst nabij de boring SB19 ; ter hoogte van boring SB16

en zeker ter hoogte van boring SB17 is het zoute water voor een deel uitgespoeld door het zoete water dat uit de zandleemstreek toevloeit.

Ter hoogte van de boring SB19 wordt zout water boven brak tot zeer brak water aangetroffen. Dit is opnieuw een gevolg van de afname van het zoutgehalte van het grondwater in de pleistocene kleileem naar de tertiaire klei toe.

Het maximaal vastgestelde zoutgehalte bedraagt in dit gebied nog slechts 19.000 mg/l. Het grondwater in deze omgeving is bijgevolg beduidend minder zout dan in het gebied rond Avekapelle. In het laatstgenoemde gebied wordt water aangetroffen dat kan worden vergeleken met de samenstelling van zeewater ; het grondwater te Driekapelle-Noordschote heeft evenwel reeds een min of meer belangrijke verzoeting ondergaan.

Enkele losse boringen (SB50 t/m SB52), uitgevoerd tussen Driekapelle en Diksmuide geven aan dat de zoet-zoutwaterverdeling gevonden in de doorsnede kan uitgebreid worden naar het gehele randgebied van de kustvlakte, tussen Lo en Diksmuide.

5.6.4.1.6.3. De IJzervallei stroomopwaarts van Pollinkhove

De verdeling van zoet en zout grondwater in de smalle IJzervallei tussen Pollinkhove en de Frans-Belgische grens werden onderzocht aan de hand van drie doorsneden, respektievelijk te Elzendamme, Stavele en Roesbrugge.

De doorsnede te Elzendamme (plaat 5.20.) werd reeds besproken in paragraaf 5.6.4.1.5. . Ze omvat de IJzerkreek, de omliggende lage poelgebieden en de hoger gelegen overdekt pleistocene gronden aan de randen van de vallei.

De doorsnede geeft aan dat nagenoeg de gehele IJzervallei te Elzendamme verzadigd is met brak tot zeer brak water dat in de poelgebieden reeds vanaf 2,0 m diepte kan worden aangetroffen. Zout grondwater is niet langer aanwezig.

Slechts ter hoogte van de IJzerkreek wordt een vrij omvangrijke zoetwaterlens waargenomen ; het zoete water reikt er tot een diepte van ca. 6 m.

In de omliggende poelgebieden is zoet water slechts aanwezig in een dunne zone nabij de watertafel. Naar de randen van de IJzervallei reikt het zoete water dieper door de toestroming van zoet grondwater vanuit de aangrenzende zandleemstreek.

Het zoutgehalte van het grondwater bedraagt in dit gebied maximaal 12.600 mg/l.

De doorsnede te Stavele (plaat 5.22.) geeft nagenoeg hetzelfde beeld : opnieuw kan een dominantie van het brakke tot zeer brakke water worden vastgesteld ; zoet water kent slechts een grote uitbreiding in de IJzercreek en het zoutgehalte van het grondwater is lager naarmate men de randen van de IJzervallei nadert.

Evenwel kunnen een aantal verschillen worden opgemerkt. Het brakke tot zeer brakke water is duidelijk dieper gesitueerd ; het wordt thans pas op een diepte van ca. 4,0 m waargenomen. De overgangszone van matig brak water is dan ook beduidend dikker.

Naar de randen van de IJzervallei reikt het matig brakke water tot op het ondoorlatend substraat. Het is er aanwezig over een diepte-interval van 8 à 9 m.

Het maximale zoutgehalte van het grondwater te Stavele is beduidend lager dan dit te Elzendamme.

De doorsnede te Roesbrugge (plaat 5.23.) vertoont nog slechts twee waterkwaliteiten, zoet en matig brak water. De laatstgenoemde waterkwaliteit kent de grootste uitbreiding ; ze verzadigt nagenoeg de gehele IJzervallei. Zoet water is thans niet langer enkel belangrijk in de IJzercreek. Ook in de poelgebieden reikt het zoete water tot een diepte van ca. 4 m.

Een boring uitgevoerd te Haringe levert informatie over het zoutgehalte van het grondwater nabij de Frans-Belgische grens. In deze boring wordt nog slechts één waterkwaliteit aangetroffen : zoet water dat reikt tot op het ondoorlatend substraat (10 m diepte).

5.6.4.1.6.4. Besluit

De laaggelegen poelgebieden in de IJzervlakte zijn zoals verwacht in hoofdzaak gekenmerkt door waters met een nog uitgesproken mariene samenstelling. De infiltratie van neerslagwater wordt in de polders vaak belemmerd zodat het ontstaan van een uitgebreide zoetwaterlens wordt verhinderd.

Het aanwezige zoete water is afkomstig van ondergrondse afstroming uit de kreekgebieden of, nabij de watertafel, van de beperkte infiltratie van neerslagwater.

Een belangrijke vaststelling is het afnemende zoutgehalte van het grondwater naarmate men zich van de zee verwijderd. Konnaat zeewater, met een zoutgehalte van 29.000 mg/l is nog aanwezig te Avekapelle ; zout grondwater is er de meest verspreide grondwaterkwaliteit. In het gebied ten zuiden van Lo (Driekapelle-

Noordschote) bedraagt het maximale zoutgehalte nog slechts 19.000 mg/l ; de dominante kwaliteit is er het brakke tot zeer brakke water. Stroomopwaarts van Pollinkhove, naar de Frans-Belgische grens toe, is de gradient in het zoutgehalte nog duidelijker. Te Elzendamme is brak tot zeer brak grondwater aanwezig met een maximaal zoutgehalte van 12.600 mg/l ; te Roesbrugge is het zoutste grondwater matig brak. Te Haringe, nabij de Frans-Belgische grens is nog enkel zoet water aangetroffen.

De gradient in het zoutgehalte van het grondwater met toenemende afstand tot de zee wordt in paragraaf 5.6.4.2.3. nader bestudeerd aan de hand van de chemische analyses op de uitgeperste poriënwaters. Een mogelijke verklaring voor deze vaststelling wordt gegeven in paragraaf 5.4.6.2.4. .

5.6.4.2. Chemische samenstelling van het grondwater in de poelgebieden, afgeleid uit de analyse van waterstalen

5.6.4.2.1. Algemeen

De poriënwaters verkregen door middel van de perstechniek laten toe de samenstelling van het grondwater in de fijnkorrelige afzettingen even gedetailleerd te bestuderen als het grondwater in de doorlatende lagen. Op deze wijze kunnen thans ook de weinig doorlatende poelgebieden in het kwaliteitsonderzoek worden betrokken. De samenstelling van het grondwater, de chemische veranderingen die het heeft ondergaan en de evolutie ervan in de loop van de geologische ontstaansgeschiedenis vormen het onderwerp van deze paragraaf.

Allereerst wordt een overzicht gegeven van de algemene samenstelling van de verschillende watertypes volgens STUYFZAND, welke in de poelgebieden worden aangetroffen. De gevolgde indeling en werkwijze is gelijk aan deze aangewend voor de bespreking van het grondwater in de doorlatende kreekgebieden.

De chemische veranderingen die het grondwater heeft ondergaan worden echter minder gedetailleerd beschreven daar het grondwater in hoofdzaak door dezelfde processen als besproken in paragraaf 5.5.2.7. is beïnvloed. Bovendien is de grondwatersamenstelling in de poelgebieden zeer sterk onderhevig aan de lokale omstandigheden (graad van verzoeting, diepte waarop de waterkwaliteit voorkomt, samenstelling van het sediment, e.a.) waardoor de kwaliteit binnen eenzelfde watertype sterk kan verschillen.

De verspreiding van de verschillende watertypes en de variatie van de chemische parameters met de diepte wordt gedetailleerd besproken aan de hand van kwaliteitsdoorsneden te Elzendamme (plaat 5.25. tot 5.32.). De besluiten afgeleid voor deze doorsneden worden aan de hand van de afzonderlijke, verspreide boringen uitgebreid tot de gehele IJzervlakte.

De meeste aandacht wordt besteed aan de evolutie die het grondwater heeft ondergaan als gevolg van opeenvolgende kontinentale en mariene afzettingsomstandigheden. De evolutiegeschiedenis van het grondwater in de poelgebieden is immers meer complex dan deze van het grondwater in de kreekgebieden, waarvan de samenstelling in hoofdzaak een gevolg is van de verzoeting na de definitieve terugtrekking van de zee uit het kustgebied. In de poelgebieden komen evenwel meerdere opeenvolgende evolutiestadia in de chemische kenmerken van het grondwater tot uiting.

De evolutie die het grondwater heeft ondergaan in de loop van de geologische ontwikkeling van de IJzervlakte wordt in detail geïllustreerd aan de hand van de doorsnede te Elzendamme. De verschillen met andere gebieden worden afgeleid met behulp van de afzonderlijke boringen.

De gradiënt in het zoutgehalte van het grondwater met toenemende afstand tot de zee, welke werd vastgesteld met de geo-elektrische boorgatmetingen, wordt nader bestudeerd aan de hand van de chemische kenmerken van het grondwater.

5.6.4.2.2. Hydrochemie van het grondwater in de poelgebieden

5.6.4.2.2.1. Zoet grondwater

Van het normaal zoet water in de poelgebieden (30 waterstalen) zijn vier watertypes aangetroffen : F-CaHCO₃ (17 waterstalen), F-CaMix (9 waterstalen), F-CaSO₄ (2 waterstalen) en F-NaHCO₃ (2 waterstalen).

De samenstelling van de Ca-types is gegeven in tabel 5.57. Slechts het SO₄-gehalte wordt voor de drie types afzonderlijk vermeld. Deze parameter bepaalt dan ook het verschil tussen de types : van het F-CaHCO₃-type naar het F-CaSO₄-type neemt het SO₄-gehalte gestadig toe ten gevolge van een meer intense oxydatie van ijzersulfiden.

Tabel 5.57. Samenstelling van zoet grondwater, Ca-types

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	28	59,34	30,06	0,51	19,86	154,82
K	mg/l	28	14,90	12,62	0,85	2,62	53,23
Ca	mg/l	28	124,39	53,48	0,43	31,51	210,70
Mg	mg/l	28	21,23	9,19	0,43	6,89	41,64
Cl	mg/l	28	75,87	35,87	0,47	17,35	144,23
SO ₄ (HCO ₃)	mg/l	28	114,65	66,85	0,58	17,00	244,00
SO ₄ (Mix)	mg/l	28	223,31	41,37	0,19	148,05	288,00
SO ₄ (SO ₄)	mg/l	28	357,36	135,01	0,38	261,89	452,82
HCO ₃	mg/l	28	316,92	136,57	0,43	88,45	731,06
TDS	mg/l	28	791	220,76	0,28	285	1176

Tabel 5.59. Samenstelling van zoet grondwater, NaHCO₃-type

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	2	73,10	17,08	0,23	61,02	85,17
K	mg/l	2	21,59	19,18	0,89	8,02	35,15
Ca	mg/l	2	45,61	27,90	0,61	25,88	65,34
Mg	mg/l	2	8,08	2,37	0,29	6,40	9,75
Cl	mg/l	2	50,54	43,81	0,87	19,56	81,51
SO ₄	mg/l	2	81,08	4,35	0,06	78,00	84,15
HCO ₃	mg/l	2	337,03	88,42	0,26	274,50	399,55
TDS	mg/l	2	489	156	0,32	333	645

Het Ca-gehalte neemt bovendien op dezelfde wijze toe als het SO_4 -gehalte, doch gaat niet gepaard met een stijging van het HCO_3 -gehalte. Zoals in de kreekgebieden kan dit wijzen op een buffering van het bij de oxydatie van ijzersulfiden vrijkomende Fe door CaCO_3 volgens reactie 5.22 (par. 5.5.2.7.2.3.).

De aangepaste concentraties voor de Ca-types zijn gegeven in tabel 5.58.

Tabel 5.58. Aangepaste concentraties voor zoet grondwater, Ca-types (mg/l)

Na*	+	18	$\text{SO}_4^*(\text{HCO}_3)$	+	104
K*	+	13	SO_4^* (Mix)	+	213
Mg*	+	16	SO_4^* (SO_4)	+	347
Ca*	+	123			

Zoals in de kreekgebieden is het overschot aan Na + K + Mg is relatief gering (47 mg/l), wat wijst op een verregaande uitspoeling van het konnate zeewater.

Het overschot aan Na is echter hoger ; wat aangeeft dat het zoete water in de poelgebieden nog meer konnate zeezouten bezit, zoals trouwens wordt bevestigd door het vrij hoge chloridegehalte van 76 mg/l (t.o.v. 47 mg/l in de kreekgebieden).

In de fijne sedimenten van de poelgebieden gebeurt de uitspoeling van de konnate zeezouten langzamer wegens de kleine doorlatendheid van de afzettingen en de geringe infiltratie van neerslagwater.

De samenstelling van het NaHCO_3 -type is gegeven in tabel 5.59 ; de aangepaste concentraties in tabel 5.60.

Tabel 5.60. Aangepaste concentraties voor zoet grondwater, F- NaHCO_3 -type (mg/l)

Na*	+	45	Ca*	+	45
K*	+	21	SO_4^*	+	43
Mg*	+	5			

In vergelijking met de Ca-types is het overschot aan Na en K toegenomen, dat van Mg afgenomen. De totale uitgewisselde hoeveelheid $\text{Na}^* + \text{K}^* + \text{Mg}^*$ bedraagt 71 mg/l. Het NaCl-type is bijgevolg beïnvloed door een vroegere fase in de kationuitwisseling.

Het lagere Ca-overschot t.o.v. de Ca-types kan niet worden verklaard door kationuitwisseling. De toename van het Na + K + Mg-overschot kan slechts aanleiding geven tot een maximale verlaging van het Ca^* -gehalte met 13 mg/l. Waarschijnlijk zorgt een ander chemisch proces voor de verdere afname van het Ca-overschot. Dit is evenwel niet een gewone neerslag van CaCO_3 daar dit proces een vermindering van het HCO_3 -gehalte vereist. Een dergelijke afname kan niet worden vastgesteld.

Het SO_4^* -gehalte is in dit watertype een weinig lager dan in de Ca-types ; waarschijnlijk is het grondwater reeds een weinig beïnvloed door sulfaatreductie.

5.6.4.2.2.2. Zoet-brak grondwater

Tot het zoet-brakke grondwater behoren 6 watertypes, welke twee reeksen vormen : de reeks Fb- CaHCO_3 - Fb-CaMix - Fb- CaSO_4 enerzijds en de reeks Fb- NaHCO_3 - Fb-NaMix - Fb- NaSO_4 anderzijds.

De samenstelling van de kwaliteitsreeksen is opgenomen in tabel 5.61 en 5.62. Enkel het SO_4 -gehalte is voor de verschillende watertypes afzonderlijk gegeven.

De kleine kationuitwisselingsparameter (+0 tot +6 meq/l) wijst op een relatief beperkte kationuitwisseling.

De aangepaste concentraties van beide reeksen zijn opgenomen in tabel 5.63.

De uitgewisselde hoeveelheden in het kationuitwisselingsproces zijn slechts weinig hoger dan deze van het F- NaHCO_3 -water ; ze bedragen respectievelijk 112 en 84 mg/l. Het zoet-brakke water is dus door dezelfde uitwisselingsfase beïnvloed.

Opmerkelijk is dat de Na-type waters een lager Na-overschot vertonen dan de Ca-type waters. De Na-reeks verschilt dan ook niet van de Ca-reeks door een toegenomen Na-gehalte als gevolg van kationuitwisseling (zoals in de kreekgebieden), doch door een lager Ca-overschot.

Tabel 5.61. Samenstelling van zoet-brak grondwater, Ca-types

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	8	166,42	33,92	0,20	128,28	232,90
K	mg/l	8	33,32	17,69	0,53	10,18	61,10
Ca	mg/l	8	182,29	48,29	0,27	88,75	257,74
Mg	mg/l	8	53,14	19,54	0,37	29,84	89,53
Cl	mg/l	8	220,46	48,02	0,22	152,94	286,86
SO ₄ (HCO ₃)	mg/l	1	182,72	-	-	-	-
SO ₄ (Mix)	mg/l	5	341,10	77,50	0,23	238,21	444,00
SO ₄ (SO ₄)	mg/l	2	643,56	166,47	0,29	525,84	761,27
HCO ₃	mg/l	8	429,32	187,03	0,44	146,40	707,60
TDS	mg/l	8	1463	253,46	0,17	917	1778

Tabel 5.62. Samenstelling van zoet-brak grondwater, Na-types

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	8	182,85	65,29	0,36	101,30	276,90
K	mg/l	8	33,71	33,15	0,98	5,91	91,92
Ca	mg/l	8	82,88	23,79	0,28	38,22	110,62
Mg	mg/l	8	36,09	27,03	0,75	12,61	86,71
Cl	mg/l	8	263,19	113,49	0,43	156,22	296,91
SO ₄ (HCO ₃)	mg/l	3	430,17	207,90	0,48	13,00	23,00
SO ₄ (Mix)	mg/l	4	329,38	263,54	0,80	27,00	620,00
SO ₄ (SO ₄)	mg/l	1	414,02	-	-	-	-
HCO ₃	mg/l	8	341,45	207,76	0,61	161,65	624,64
TDS	mg/l	8	1126	329,02	0,29	731	1783

Tabel 5.63. Aangepaste concentraties voor zoet-brak grondwater (mg/l)

Ca-reeks			Na-reeks		
Na*	+	45	Na*	+	38
K*	+	29	K*	+	28
Mg*	+	38	Mg*	+	18
Ca*	+	178	Ca*	+	77
SO ₄ *(HCO ₃)	+	151	SO ₄ *(HCO ₃)	+	150
SO ₄ * (Mix)	+	310	SO ₄ * (Mix)	+	292
SO ₄ * (SO ₄)	+	613	SO ₄ * (SO ₄)	+	304

De toename van het SO₄-overschot binnen een reeks naar het SO₄-type toe blijkt duidelijk uit de aangepaste concentraties. Het zoet-brakke grondwater is bijgevolg nog sterk beïnvloed door de oxydatie van ijzersulfiden. In de kreekgebieden daarentegen is het zoet-brakke grondwater nagenoeg steeds gekenmerkt door het begin van sulfaatreductie.

Dit verschil kan worden verklaard door de diepte waarop het zoet-brakke water zich bevindt. In de poelgebieden is deze waterkwaliteit gesitueerd nabij de watertafel waar zich de oxydatie van ijzersulfiden voordoet. In de kreekgebieden bevindt het zoet-brakke water zich vaak meer dan 10 m beneden de watertafel. In dit diepte-interval is de invloed van het oxydatieproces reeds uitgewist door sulfaatreductie.

5.6.4.2.2.3. Brak grondwater

22 geëxtraheerde poriënwaters behoren tot het brakke grondwater. Drie watertypes worden aangetroffen : B-CaHCO₃ (1 waterstaal), B-NaMix (8 waterstalen) en B-NaCl (13 waterstalen). De gemiddelde samenstelling van deze waters is gegeven in tabel 5.64.

Het B-CaHCO₃-type verschilt van het B-NaMix-type door een hoger Ca-gehalte en een lager SO₄-gehalte waardoor Ca en HCO₃ dominant zijn over de andere anionen. Daar het brakke water zich in de poelgebieden vaak nabij de watertafel bevindt is het meestal gekenmerkt door een hoge sulfaatkonzentratie als gevolg van de oxydatie van ijzersulfiden, zodat het CaHCO₃-type als uitzonderlijk kan worden beschouwd. Het werd dan ook slechts eenmaal aangetroffen.

Tabel 5.64. Samenstelling van brak grondwater

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	25	407,76	100,39	0,25	212,30	530,14
K	mg/l	25	40,74	19,01	0,47	18,69	105,70
Ca	mg/l	25	126,58	57,96	0,46	59,17	334,00
Mg	mg/l	25	64,44	27,97	0,43	23,64	117,40
Cl	mg/l	25	628,90	165,26	0,26	378,21	965,40
SO ₄	mg/l	25	279,71	144,81	0,58	14,00	745,00
HCO ₃	mg/l	25	543,72	281,95	0,52	155,00	1432,28
TDS	mg/l	25	2198	483,55	0,22	1228	3401

Het B-NaCl-type vertoont een duidelijk hoger Cl-gehalte dan de voorgaande watertypes, wijzend op een toename van de natuurlijke zeezoutbijdrage.

De kationuitwisselingsparameter varieert voor de brakke waters tussen -3 en +3 meq/l.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.65.

Tabel 5.65. Aangepaste concentraties voor brak grondwater (mg/l)

Na*	+	61	Ca*	+	113
K*	+	28	SO ₄ *	+	192
Mg*	+	21			

Het t.o.v. de zoet-brakke waters toegenomen toont aan dat de samenstelling van het brakke grondwater bepaald is door een vroegere fase van de kationuitwisseling.

Het Ca*-gehalte is iets lager, doch wordt blijkbaar slechts weinig door kationuitwisseling gewijzigd. De kationuitwisseling geschiedt bijgevolg volgens reactie (5.13).

Het SO₄*-gehalte is nog steeds hoog ; het HCO₃-gehalte is slechts weinig toegenomen. Er mag dan ook worden gesteld dat het brakke grondwater weinig of niet gekenmerkt is door sulfaatreductie.

In vergelijking met het overeenkomstige grondwater in de kreekgebieden kan een beduidend geringere kationuitwisseling worden vastgesteld. In de kreek-sedimenten is het Na-overschot immers meestal hoger dan 100 mg/l.

Het brakke grondwater in de kreekgebieden is bovendien steeds gekenmerkt door sulfaatreductie, welke aanleiding geeft tot een SO₄-tekort van 125 mg/l.

5.6.4.2.2.4. Brak-zout grondwater

5.6.4.2.2.4.1. Matig brak-zout grondwater (TDS < 6400 mg/l)

Alle waterstalen van het matig brak-zoute grondwater behoren tot het Bs-NaCl-type ; de zeezoutbijdrage zorgt thans voor een dominantie van Na en Cl over de andere ionen. Op basis van de kationuitwisselingscode kunnen drie types worden onderscheiden : Bs-NaCl+, Bs-NaClø en Bs-NaCl-.

De kationuitwisselingsfaktor van het Bs-NaCl+ -type varieert tussen +5 en +11 meq/l, wat ondubbelzinnig wijst op een verdringing van zout door zoet grondwater. De samenstelling van dit watertype is gegeven in tabel 5.66.

Het gemiddelde chloridegehalte van 1.571 mg/l toont aan dat het grondwater gekenmerkt is door een bijdrage van konnaat zeewater van ca. 10 %.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.67.

Tabel 5.67. Aangepaste concentraties voor matig brak-zout grondwater, Bs- NaCl+ -type (mg/l)

Na*	+	107	Ca*	+	82
K*	+	36	SO ₄ *	-	141
Mg*	+	21			

De totale uitgewisselde hoeveelheid Na + K + Mg bedraagt in dit watertype 164 mg/l; de invloed van de kationuitwisseling op de samenstelling van het grondwater wordt bijgevolg belangrijker. Vooral het relatieve belang van Na in dit proces is toegenomen. Het Ca*-gehalte is iets lager dan in de brakke watertypes, waarschijnlijk ten gevolge van de toegenomen kationuitwisseling.

Voor het eerst kan duidelijk de invloed van sulfaatreduktie worden vastgesteld ; het grondwater vertoont een SO₄-tekort van 141 mg/l ; het HCO₃-gehalte is toegenomen.

Tabel 5.66. Samenstelling van matig brak-zout grondwater, Bs-NaCl+ -type

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	13	971,24	225,04	0,23	611,10	1809,07
K	mg/l	13	67,88	17,33	0,26	35,58	146,60
Ca	mg/l	13	115,28	37,12	0,32	61,68	176,47
Mg	mg/l	13	126,77	31,05	0,24	78,30	213,86
Cl	mg/l	13	1571,39	429,11	0,27	1023,00	2961,60
SO ₄	mg/l	13	79,30	48,30	0,61	20,00	820,19
HCO ₃	mg/l	13	1002,34	164,92	0,16	256,20	1232,20
TDS	mg/l	13	4345	823,76	0,19	3064	6130

Tabel 5.68. Samenstelling van matig brak-zout grondwater, Bs-NaClø -type

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	2	1136,65	33,87	0,03	1112,70	1160,60
K	mg/l	2	82,74	26,68	0,32	63,87	101,60
Ca	mg/l	2	130,65	35,99	0,28	103,20	156,10
Mg	mg/l	2	179,95	32,88	0,18	156,70	207,20
Cl	mg/l	2	2135,00	24,04	0,01	2118,00	2152,00
SO ₄	mg/l	2	31,00	14,14	0,46	21,00	41,00
HCO ₃	mg/l	1	790,56	-	-	-	-
TDS	mg/l	2	5422	73,50	0,01	5348	5495

In de kreekgebieden behoren alle matig brak-zoute waters tot dit type. Ze vertonen evenwel een veel sterker uitgesproken kationuitwisseling, met een Na + K + Mg-overschot van 257 mg/l. Het Ca-gehalte wordt er sterk door het uitwisselingsproces beïnvloed.

De gemiddelde samenstelling van het Bs-NaClø -type is gegeven in tabel 5.68 ; ze verschilt slechts weinig van deze van het Bs-NaCl+ -type. De zeezoutbijdrage is nagenoeg gelijk.

Volgens de kationuitwisselingscode is het grondwater in evenwicht met het sediment. De uitwisselingsparameter bedraagt gemiddeld dan ook slechts + 3 meq/l. De aangepaste concentraties in tabel 5.69 tonen evenwel aan dat het grondwater wel degelijk kationuitwisseling heeft ondergaan.

Tabel 5.69 Aangepaste concentraties voor matig brak-zout grondwater, Bs-NaClø type (mg/l)

Na*	-	38	Ca*	+	86
K*	+	40	SO ₄ *	-	268
Mg*	+	37			

K en Mg vertonen nog steeds een overschot ; Na kent thans een tekort. Beide eerstgenoemde parameters wijzen op de invloed van een verdringing van zout door zoet grondwater, laatstgenoemde parameter op een verdringing van zoet door zout grondwater. Deze gemengde kenmerken kunnen er op duiden dat dit watertype is ontstaan door de menging van grondwater met verzoetings-kenmerken enerzijds en verziltingskenmerken anderzijds. Dit is bijvoorbeeld mogelijk wanneer oorspronkelijk aanwezig verziltingswater een verzoeting ondergaat, of omgekeerd.

De gemiddelde samenstelling van het Bs-NaCl- -type (tabel 5.70) verschilt slechts weinig van deze van de voorgaande types . De kationuitwisselingsparameter varieert echter tussen -8 en -22 meq/l, wat aangeeft dat het grondwater uitgesproken verziltingskenmerken vertoont.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.71.

Tabel 5.70. Samenstelling van matig brak-zout grondwater, Bs-NaCl- -type

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	2	835,27	100,31	0,12	764,34	906,20
K	mg/l	2	31,26	1,60	0,05	30,23	32,29
Ca	mg/l	2	342,98	129,73	0,38	251,25	434,71
Mg	mg/l	2	111,29	32,07	0,29	88,61	133,97
Cl	mg/l	2	2046,36	571,31	0,28	1642,38	2450,33
SO ₄	mg/l	2	171,20	67,32	0,39	123,60	218,80
HCO ₃	mg/l	2	195,20	8,63	0,04	189,10	201,30
TDS	mg/l	2	4630	661	0,14	3969	5291

Tabel 5.71 Aangepaste concentraties voor matig brak-zout grondwater, Bs-NaCl-type (mg/l)

Na*	-	290	Ca*	+	300
K*	-	10	SO ₄ *	-	115
Mg*	-	26			

Zowel Na, K en Mg vertonen thans een tekort. Het totale Na + K + Mg-tekort bedraagt 326 mg/l. Het watertype is dan ook het gevolg van een verdringing van zoet door zout grondwater.

Het Ca-gehalte wordt in sterke mate door kationuitwisseling beïnvloed : het Ca-overschot is als gevolg van de omgekeerde kationuitwisseling opgelopen tot 300 mg/l.

In de kreekgebieden werd grondwater met een omgekeerde kationuitwisseling slechts aangetroffen vanaf de sterk brak-zoute watertypes.

5.6.4.2.2.4.2. Sterk brak-zout grondwater

Alle waterstalen behoren tot het Bs-NaCl-type. Opnieuw kunnen drie groepen worden onderscheiden op basis van de verschillen in kationuitwisseling.

De kationuitwisselingsfaktor van het Bs-NaCl+ -type varieert van +9 tot +26 meq/l , wat eenduidig wijst op een verdringing van zout door zoet grondwater. De gemiddelde samenstelling van het grondwater is gegeven in tabel 5.72.

De natuurlijke zeezoutbijdrage is in vergelijking met het matig brak-zoute grondwater toegenomen : het gemiddelde chloride-gehalte van 4.055 mg/l wijst thans op een menging van 25% zeewater met 75% zoet infiltratiewater.

De aangepaste concentraties van dit watertype zijn gegeven in tabel 5.73.

Tabel 5.72. Samenstelling van sterk brak-zout grondwater, Bs-NaCl+ -type

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	7	2427,11	707,86	0,29	1637,60	3026,25
K	mg/l	7	118,61	28,25	0,24	66,11	146,60
Ca	mg/l	7	219,27	88,06	0,40	93,11	305,94
Mg	mg/l	7	325,70	121,30	0,37	183,50	427,73
Cl	mg/l	7	4054,80	1421,81	0,35	2650,51	5204,00
SO ₄	mg/l	7	36,29	19,36	0,53	18,13	67,48
HCO ₃	mg/l	7	2180,86	818,19	0,38	933,10	3101,85
TDS	mg/l	7	9528	2316,87	0,24	6452	13292

Tabel 5.74. Samenstelling van sterk brak-zout grondwater, Bs-NaClø -type

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	6	2838,90	1568,33	0,55	1502,30	5441,62
K	mg/l	6	138,60	60,98	0,44	103,85	243,19
Ca	mg/l	6	234,01	84,59	0,36	118,05	272,55
Mg	mg/l	6	378,81	244,57	0,65	227,7	726,21
Cl	mg/l	6	5190,77	2838,18	0,55	2761,00	9946,00
SO ₄	mg/l	6	37,94	14,65	0,39	23,63	62,00
HCO ₃	mg/l	6	1681,84	634,90	0,38	998,00	2345,45
TDS	mg/l	6	12418	4836,85	0,39	6897	19190

Tabel 5.73. Aangepaste concentraties voor sterk brak-zout grondwater, Bs-NaCl+ type (mg/l)

Na*	+	197	Ca*	+	134
K*	+	38	SO ₄ *	-	531
Mg*	+	54			

In vergelijking met het overeenkomstige matig brak-zoute watertype is vooral het Na-overschot toegenomen. De totale uitgewisselde hoeveelheid bedraagt thans 289 mg/l. Dit watertype vertegenwoordigt dan ook het grondwater dat maximaal door de kationuitwisseling is beïnvloed.

Het Ca-gehalte wordt echter opnieuw slechts weinig gewijzigd.

De sulfaatreduktie is duidelijk meer intens, met als gevolg hiervan een afname van het SO₄*-gehalte en een toename van het HCO₃-gehalte. Dit laatste bedraagt reeds meer dan 2.000 mg/l.

Eén waterstaal van dit grondwater kon worden verkregen uit een peilbuis (SB14 F) ; op dit waterstaal kon bijgevolg een totaalanalyse worden uitgevoerd. Als gevolg van de sulfaatreduktie kan een hoog NH₄-gehalte (9 mg/l) en in mindere mate een hoog PO₄-gehalte (3 mg/l) worden vastgesteld.

In vergelijking met de kreekgebieden (waterstalen met een Na + K-overschot) zijn de uitgewisselde hoeveelheden een weinig kleiner ; de sulfaatreduktie is van dezelfde grootte-orde.

De samenstelling van het Bs-NaCl₀ -type is gegeven in tabel 5.74 ; ze is vergelijkbaar met deze van het voorgaande sterk brak-zoute watertype. De kationuitwisselings-parameter varieert tussen -9 en +5 meq/l; volgens de uitwisselingscode is het grondwater in evenwicht met het sediment.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.75.

Tabel 5.75. Aangepaste concentraties voor sterk brak-zout grondwater, Bs-NaCl \emptyset type (mg/l)

Na*	-	16	Ca*	+	125
K*	+	35	SO ₄ *	-	689
Mg*	+	31			

Zoals het overeenkomstige matig brak-zoute grondwater is dit watertype gekenmerkt door een K en Mg-overschot en een Na-tekort. Deze kenmerken duiden opnieuw op de menging van grondwater met verziltingskenmerken enerzijds en verzoetingskenmerken anderzijds. Het watertype mag dan ook worden beschouwd als een overgangstype tussen het Bs-NaCl+ en het Bs-NaCl- -type grondwater.

De samenstelling van het Bs-NaCl- -type is gegeven in tabel 5.76. De kation-uitwisselingsparameter, welke varieert tussen -8 en -25 meq/l, wijst ondubbelzinnig op de verdringing van zoet door zout grondwater.

De aangepaste concentraties zijn gegeven in tabel 5.77.

Tabel 5.77. Aangepaste concentraties voor sterk brak-zout grondwater, Bs-NaCl- type (mg/l)

Na*	-	315	Ca*	+	176
K*	-	31	SO ₄ *	-	562
Mg*	-	3			

Na, K en Mg vertonen thans een tekort ; vooral Na is sterk door het kation-uitwisselingsproces beïnvloed. Als gevolg van de omgekeerde kationuitwisseling is het Ca-overschot gestegen ; door de toename van HCO₃ als gevolg van sulfaatreductie slaat een deel van het afgestane Ca echter neer.

3 waterstalen konden worden ontnomen uit peilbuizen ; het betreft de peilbuizen SB13 F, SB16 F en SB17 F. Deze waterstalen stammen uit de poelgebieden te

Tabel 5.76. Samenstelling van sterk brak-zout grondwater, Bs-NaCl- -type

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	11	2298,39	705,36	0,31	1752,91	4502,10
K	mg/l	11	125,95	47,28	0,38	82,28	263,00
Ca	mg/l	11	276,01	70,69	0,26	218,30	403,80
Mg	mg/l	11	315,43	82,36	0,26	209,40	571,00
Cl	mg/l	11	4751,23	1311,33	0,28	3725,80	9913,00
SO ₄	mg/l	11	103,09	79,89	0,77	25,00	300,00
HCO ₃	mg/l	11	1290,33	474,84	0,37	317,20	1543,30
TDS	mg/l	11	9976	2140,94	0,21	8065	16393

Noordschote en werden op een grotere diepte genomen dan de geëxtraheerde poriënwaters.

De verziltingskenmerken van het grondwater komen er nog duidelijker tot uiting. Zo bedragen de maximaal vastgestelde Na-, K- en Mg-tekorten als gevolg van de omgekeerde kationuitwisseling respectievelijk 641, 144 en 178 mg/l. Deze tekorten corresponderen met Ca-overschotten tot 550 mg/l.

De sulfaatreductie kan op deze diepte aanleiding geven tot een SO_4 -tekort van meer dan 1.000 mg/l ; de HCO_3 en NH_4 -gehalten zijn dan ook hoog. De sulfaatreductie wordt echter niet weerspiegeld in het PO_4 -gehalte dat steeds lager is dan 1 mg/l.

In vergelijking met het overeenkomstige grondwater in de kreekgebieden (waterstalen met een Na + K-tekort) zijn de uitgewisselde hoeveelheden thans beduidend hoger : Na + K = -346 mg/l t.o.v. -130 mg/l.

Opmerkelijk is dat Mg zich in de poelgebieden gedraagt zoals Na en K, dit in tegenstelling met het grondwater in de kreekgebieden waar Mg een belangrijk overschot vertoont.

5.6.4.2.2.5. Zout grondwater

De samenstelling van zout grondwater kon worden afgeleid uit 8 waterstalen. Op basis van de kationuitwisseling kunnen 2 types worden onderscheiden : S-NaClø (4 waterstalen) en S-NaCl- (4 waterstalen). De gemiddelde samenstelling van beide types is respectievelijk gegeven in tabel 5.78 en 5.79.

Het S-NaClø -type is volgens de kationuitwisselingscode in evenwicht met het sediment. De aangepaste concentraties in tabel 5.80, en meer bepaald het Na-tekort, duiden evenwel op sporen van omgekeerde kationuitwisseling.

Tabel 5.80. Aangepaste concentraties voor zout grondwater, S-NaClø -type (mg/l)

Na*	-	65	Ca*	+	90
K*	+	44	SO ₄ *	-	1531
Mg*	+	50			

Tabel 5.78. Samenstelling van zout grondwater, S-NaClø -type

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	4	6203,00	665,99	0,11	5441,62	6923,86
K	mg/l	4	272,07	46,06	0,17	214,08	320,19
Ca	mg/l	4	329,44	63,09	0,19	241,88	380,15
Mg	mg/l	4	813,14	50,18	0,06	775,88	886,79
Cl	mg/l	4	11395,50	934,20	0,08	10539,00	12581,00
SO ₄	mg/l	4	64,67	55,04	0,85	25,78	144,50
HCO ₃	mg/l	4	2802,95	279,48	0,10	2427,80	3040,85
TDS	mg/l	4	20960	1544,79	0,07	19190	23266

Tabel 5.79. Samenstelling van zout grondwater, S-NaCl- -type

Parameter	Eenheid	N	\bar{X}	s	s/\bar{X}	Min.	Max.
Na	mg/l	4	5404,90	275,67	0,05	5192,80	5800,30
K	mg/l	4	254,58	42,82	0,17	216,50	307,80
Ca	mg/l	4	259,13	109,22	0,42	127,70	391,60
Mg	mg/l	4	729,23	99,18	0,14	601,00	813,40
Cl	mg/l	4	11152,20	470,76	0,04	11025,80	11632,70
SO ₄	mg/l	4	67,50	37,78	0,56	31,00	108,00
HCO ₃	mg/l	4	918,36	464,14	0,51	263,52	1348,10
TDS	mg/l	4	20004	282,87	0,01	19608	20408

De aangepaste concentraties van dit watertype zijn vergelijkbaar met deze van het overeenkomstige brak-zoute grondwater. Waarschijnlijk is het eveneens ontstaan door de menging van grondwater met verziltingskenmerken enerzijds en verzoetingskenmerken anderzijds.

De sulfaatreductie is zeer intens, met als gevolg een SO_4 -tekort van meer dan 1.500 mg/l en een HCO_3 -gehalte van 2.800 mg/l.

De kationuitwisselingsparameter van het S-NaCl- -type varieert tussen -9 en -49 meq/l, wat wijst op uitgesproken verziltingskenmerken. Deze worden trouwens bevestigd door de aangepaste concentraties in tabel 5.81.

Tabel 5.81. Aangepaste concentraties voor zout grondwater, S-NaCl- -type (mg/l)

Na*	-	729	Ca*	+	25
K*	+	32	SO ₄ *	-	1494
Mg*	-	18			

De omgekeerde kationuitwisseling geeft aanleiding tot een uitgesproken Na-tekort, dat evenwel niet korrespondeert met een hoog Ca-overschot. Waarschijnlijk wordt Ca uit het grondwater verwijderd door de neerslag van CaCO_3 ; het HCO_3 -gehalte is, ondanks de uitgesproken sulfaatreductie, trouwens teruggelopen tot 950 mg/l.

Ter hoogte van de boring SB48 kon een waterstaal uit een peilbuis worden ontnomen. De aangepaste concentraties zijn vergelijkbaar met deze van de geëxtraheerde poriënwaters. Het Ca-gehalte wordt thans wel sterk door kationuitwisseling beïnvloed en is toegenomen tot 426 mg/l.

De sulfaatreductie komt tot uiting in het hoge gehalte aan HCO_3 (2.000 mg/l), NH_4 (39 mg/l) en PO_4 (5 mg/l).

5.6.4.2.2.6. Besluit

Door de vergelijking van het grondwater in de kreekgebieden enerzijds en in de poelgebieden anderzijds kan worden vastgesteld dat de kwaliteitswijzigingen meestal geringer zijn voor het laatstgenoemde grondwater. Vooral voor de waters met een positieve kationuitwisselingscode is de invloed van de kationuitwisseling beduidend geringer in de poelgebieden. Waarschijnlijk speelt diffusie hierbij een rol.

Ten gevolge van de zeer trage grondwaterstroming kan diffusie de opgetreden kwaliteitsveranderingen voor een deel uitwissen.

Opmerkelijk is dat in de poelgebieden het Mg-ion zich in de kationuitwisseling wel gedraagt volgens de verwachtingen. In de kreekgebieden gedroeg Mg zich daarentegen eerder als Ca in het uitwisselingsproces.

De meeste watertypes zijn gekenmerkt door een vrij hoog SO_4 -gehalte. Slechts vanaf de brak-zoute grondwaters treedt sulfaatreductie op. Dit feit kan worden verklaard door de geringe diepte waarop de de zoete tot brakke waters voorkomen.

Van belang zijn de meermaals aangetroffen grondwaters met verziltingskenmerken, wijzend op een verdringing van zoet door zout grondwater. Het voorkomen van deze waters en het ontstaan ervan wordt besproken in paragraaf 5.6.4.2.3. en 5.6.4.2.4. .

5.6.4.2.3. Voorkomen van de verschillende grondwaterkwaliteiten

5.6.4.2.3.1. Algemeen

Aan de hand van een aantal boringen, verspreid over de westelijke kustvlakte uitgevoerd, kan het voorkomen van de verschillende waterkwaliteiten voor de gehele IJzervlakte worden afgeleid. Te Elzendamme werd deze verspreiding in detail bestudeerd in een doorsnede doorheen de IJzervallei. In het totaal werden in deze doorsnede acht boringen met monsternamen verricht.

5.6.4.2.3.2. De IJzervlakte te Avekapelle - Pervijze

In de omgeving van Avekapelle - Pervijze werden 2 boringen met monsternamen verricht, respectievelijk ter hoogte van de spoelboringen SB44 en SB48. Tot 6 m diepte werden grondstalen verzameld. Ter hoogte van boring SB48 kon uit een peilbuis, geplaatst nabij het tertiair substraat (15 m diepte), eveneens een waterstaal worden opgepompt. Dit waterstaal levert informatie over de samenstelling van het diepere grondwater. De samenstelling van het tussenliggende grondwater is niet gekend.

De variatie van de chemische parameters met de diepte is voor de beide boringen respektievelijk gegeven in de figuren 5.46. en 5.47. ; hierop is tevens de opeenvolging van de watertypes volgens STUYFZAND aangeduid.

Ter hoogte van boring SB44 worden volgende waterkwaliteiten aangetroffen :

- zoet grondwater van het CaHCO_3^+ en NaHCO_3^+ -type tot een diepte van 0,50 m (onverzadigde zone) ;
- zoet-brak grondwater van het NaMix^+ -type tussen 0,50 en 1,0 m diepte ;
- brak en brak-zout grondwater van het CaCl_0 -type tussen 1,0 en 1,5 m diepte. Dit watertype is kenmerkend voor verziltingswaters ; het vertoont dan ook een Na-tekort tot 120 mg/l. K en Mg vertonen daarentegen een overschot. Het grondwater in dit diepte-interval is waarschijnlijk gemengd water dat zowel de kenmerken van verzoetings- als van verziltingswater bevat.
- brak-zout grondwater van het Bs-NaCl -type tussen 2 en 4 m diepte, met uitgesproken verziltingskenmerken ;
- zout grondwater van het Bs-NaCl -type, vanaf 4 m diepte. Het maximaal vastgestelde Na, K en Mg-tekort in deze zone bedraagt respektievelijk 1.000, 16 en 178 mg/l ; de verziltingskenmerken nemen echter opnieuw af vanaf 5,5 m diepte.

De sulfaatreduktie is uitgesproken vanaf 2,5 m diepte en geeft op 4 m onder het maaiveld reeds aanleiding tot een sulfaattekort van meer dan 1500 mg/l. In figuur 5.46. kan op deze diepte dan ook een duidelijke afname van het SO_4 -gehalte worden vastgesteld.

Ter hoogte van boring SB48 worden tot 6 m diepte achtereenvolgens de volgende watertypes aangetroffen :

- zoet grondwater van het CaHCO_3^+ -type, tot ca. 1 m beneden maaiveld ;
- brak water van het NaCl^+ -type, tot 1,5 m diepte ;
- brak-zout grondwater van het NaCl^+ -type, tot 3,0 m diepte ;
- zout grondwater van het NaCl_0 -type, vanaf 3 m diepte.

Op basis van het zoutgehalte is deze boring bijgevolg vergelijkbaar met de voorgaande.

Op het gebied van kationuitwisseling zijn echter verschillen merkbaar. Het grondwater vertoont zeer duidelijk minder uitgesproken verziltingskenmerken. Slechts in het diepte-interval tussen 3 en 5 m kan een Na-tekort worden vastgesteld.

Op geringere diepte en onder deze zone vertoont het grondwater duidelijk de kenmerken van een verdringing van zout door zoet grondwater. Het water met verziltingskenmerken is bijgevolg gevat tussen verzoetingswaters.

In beide boringen is de sulfaatreduktie belangrijk vanaf 2,5 m diepte en kan aanleiding geven tot een SO_4 -tekort van meer dan 1.700 mg/l. Dit proces komt duidelijk tot uiting in de figuren 5.46. en 5.47.

Het waterstaal ontnomen uit de peilbuis SB48 F, op 15 m diepte vertoont zeer uitgesproken verziltingskenmerken. Ten gevolge van de omgekeerde kation-uitwisseling bedraagt het tekort aan Na er 720 mg/l, het Ca-overschot 425 mg/l.

5.6.4.2.3.3. De IJzervlakte te Driekapelle - Noordschote

In de polders te Noordschote werd ter hoogte van de spoelboring SB14 een boring met monsternamen verricht, reikend tot 5 m diepte. De keuze van deze boring was minder gelukkig daar ze werd uitgevoerd in een met lemige sedimenten gevulde, smalle uitloper van de IJzercreek. De variatie van de chemische parameters met de diepte is voor deze boring voorgesteld in figuur 5.48. .

Tevens kon uit 4 peilbuizen een waterstaal worden onttrokken ; het betreft de peilbuizen SB13 F, SB14 F, SB16 F en SB17 F, respectievelijk op 14, 8, 12 en 13 m diepte.

Ter hoogte van de boring SB14 gebeurde de monsternamen vanaf 1 m diepte waardoor het zoete grondwater niet werd bemonsterd. Vanaf deze diepte is zoet-brak water van het CaMix+ en vervolgens het NaMix+ -type aanwezig. De smalle uitloper van de IJzercreek is bijgevolg niet gekenmerkt door de vorming van een zoetwatervoorraad.

Vanaf 1,5 m tot 3,5 m diepte is brak grondwater van het NaMix+ en vervolgens van het NaCl+ -type vastgesteld.

Op grotere diepte is het brak-zoute grondwater van het NaCl+ -type vertegenwoordigd.

De kationuitwisselingsfactor is voor alle waterstalen nagenoeg gelijk en bedraagt ongeveer +15 meq/l. Het overschot aan Na, K en Mg kan respectievelijk oplopen tot 200, 95 en 80 mg/l.

Het waterstaal uit de peilbuis SB14 F, op 8 m diepte, is eveneens van het Bs-NaCl-type. Het belang van de kationuitwisseling is er toegenomen (kationuitwisselingsparameter = 27 meq/l), wat overeenstemt met een Na, K en Mg-overschot van respectievelijk 280, 32 en 167 mg/l. Mogelijkerwijze is deze uitgesproken positieve kationuitwisseling een gevolg van de aanwezigheid van de smalle uitloper van de IJzercreek. Zoals reeds aangetoond door de boorgatmetingen (par. 5.6.4.1.6.) is de infiltratie van zoet water er meer uitgesproken dan in de omringende poelgebieden. De sulfaatreductie geeft aanleiding tot een SO_4 -tekort van 600 mg/l.

De waterstalen uit de peilbuizen SB13 F, SB16 F en SB17 F zijn op grotere diepte ontnomen ; de beide laatste waterstalen vertegenwoordigen de basis van het kwartaire grondwaterreservoir. Het betreft nog steeds grondwater van het Bs-NaCl-type, doch thans met uitgesproken verziltingskenmerken. De kationuitwisselingsparameter varieert tussen -16 en -30 meq/l, korresponderend met een maximaal Na, K en Mg-tekort van respectievelijk 640, 144 en 178 mg/l. Ten gevolge van de omgekeerde kationuitwisseling kan het Ca-overschot oplopen tot 550 mg/l. Het SO_4 -tekort is toegenomen tot 1.200 mg/l.

In vergelijking met de IJzervlakte te Avekapelle - Pervijze is het grondwater te Noordschote duidelijk minder zout. Te Avekapelle worden S-type waters reeds aangetroffen vanaf 4 m diepte ; het maximale zoutgehalte bedraagt er 29.000 mg/l. Te Noordschote is het S-type grondwater niet waargenomen ; het zoutgehalte bedraagt er nog slechts 19.000 mg/l. Bovendien reikt de infiltratie van zoet neerslagwater te Noordschote dieper, ter hoogte van boring SB14 zeker tot 8 m diepte, te Avekapelle plaatselijk slechts tot ca. 2 m diepte.

Zoals te Avekapelle is het grondwaterreservoir gekenmerkt door grondwater met normale kationuitwisseling (verdringing van zout door zoet grondwater) rustend op grondwater met omgekeerde kationuitwisseling (verdringing van zoet door zout grondwater).

5.6.4.2.3.4. De IJzervallei te Elzendamme

De verticale en horizontale verspreiding van de verschillende waterkwaliteiten te Elzendamme wordt gevisualiseerd met behulp van een gedetailleerde kwaliteitsdoorsnede (plaat 5.24.). In deze doorsnede werden 8 boringen verricht ; de variatie

van de chemische parameters met de diepte is voor de belangrijkste boringen uitgezet op de figuren 5.49. tot 5.52. .

In deze doorsnede varieert de grondwaterkwaliteit van zoet (F-type) tot brak-zout (Bs-type) ; zout grondwater (S-type) is niet aanwezig. 7 watertypes worden aangetroffen : CaHCO_3 , CaMix , CaSO_4 , NaHCO_3 , NaMix , NaSO_4 en NaCl . De Ca-waters worden enkel waargenomen in het zoete en zoet-brakke grondwater; de Na-waters zijn daarentegen in alle waterkwaliteiten vertegenwoordigd, doch slechts in belangrijke mate vanaf de brakke waters.

Zes grote kwaliteitseenheden kunnen worden onderscheiden. Het betreft "waterlagen" die met een uiteenlopende dikte op elkaar rusten. De bovenste drie lagen omvatten respectievelijk het zoete, het zoet-brakke en het brakke grondwater. De onderste drie lagen vertegenwoordigen het brak-zoute grondwater, respectievelijk met normale (+), weinig of geen (ø) en omgekeerde (-) kationuitwisseling.

Voor de algemene chemische samenstelling van deze eenheden wordt verwezen naar paragraaf 5.6.4.2. .

De F- CaHCO_3 +, F- CaMix +, F- CaSO_4 +, (F- NaHCO_3 +) -eenheid vormt de topzone van het kwartaire grondwaterreservoir. Ze bereikt ter hoogte van de laaggelegen poelgebieden slechts een dikte van 0,7 tot 2,0 m ; plaatselijk is de eenheid er beperkt tot de onverzadigde zone. In de IJzerkreek daarentegen reikt ze als gevolg van de vrij belangrijke neerslagwaterinfiltratie tot ca. 5 m diepte.

Na-types zijn slechts zeer plaatselijk aangetroffen ; ten gevolge van de oplossing van CaCO_3 is Ca meestal het dominerende kation (Ca-overschot tot 170 mg/l). Op anionbasis dienen drie types te worden onderscheiden, naargelang van het SO_4 -gehalte. De verspreiding van deze types blijkt willekeurig.

Ondanks de geringe kationuitwisselingsparameter kunnen reeds belangrijke overschotten aan Na en K worden vastgesteld, tot 50 mg/l. De chemische samenstelling van deze kwaliteitseenheid wijkt bijgevolg reeds sterk af van deze van het infiltratiewater.

De Fb- CaHCO_3 +, Fb- CaMix +, Fb- CaSO_4 +, (F- NaSO_4 +) -eenheid vormt een zeer dunne zone onder het zoete grondwater ; de dikte bedraagt slechts 0,5 m. In tegenstelling met de eerste eenheid kent het zoet-brakke grondwater in de IJzerkreek geen grotere uitbreiding. Aan de zuidelijke rand van de IJzervallei wordt zoet-brak grondwater niet meer aangetroffen ten gevolge van de belangrijke zoete invloed van de aangrenzende zandleemstreek.

Ca is nog steeds het belangrijkste kation ; op basis van het SO_4 -gehalte kunnen opnieuw drie types worden onderscheiden. De kationuitwisselingsfaktor varieert tussen +3 en +8 meq/l, wat wijst op een toenemend belang van de kationuitwisseling. Het overschot aan Na, K en Mg bedraagt dan ook respectievelijk 72, 57 en 46 mg/l.

De B- NaHCO_3 +, B- NaMix +, B- NaCl + -eenheid onder het zoet-brakke water bereikt een gemiddelde dikte van ca. 1 m ; de overgang van het zoete naar het brak-zoute grondwater geschiedt bijgevolg over een diepte-interval van ca. 1,5 m.

Twee subeenheden kunnen worden onderscheiden. Ten noorden van de IJzer is, door de aanwezigheid van de IJzercreek, HCO_3 het dominerende anion. De aanwezige watertypes zijn NaHCO_3 en NaMix waarin HCO_3 overweegt op Cl. Ten zuiden van de IJzer, in de laaggelegen poelgebieden, worden NaCl en NaMix -waters vastgesteld, waarbij het laatste watertype thans een overwicht van Cl op HCO_3 vertoont. Dit chemisch verschil kan worden verklaard door sulfaatreductie. Deze, en de ermee gepaard gaande hoge HCO_3 -gehalten, is in de IJzercreek reeds uitgesproken in het brakke grondwater. SO_4 -tekorten tot 200 mg/l kunnen worden vastgesteld. In de poelgebieden is het brakke water evenwel aanwezig nabij de watertafel, waar het eerder wordt beïnvloed door de oxydatie van ijzersulfiden. Het brakke water is in deze zone dan ook gekenmerkt door een SO_4 -overschot van 200 tot 600 mg/l en een relatief laag HCO_3 -gehalte.

De kationuitwisselingsfaktor is positief en varieert tussen +6 en +12 meq/l. Het overschot aan Na, K en Mg bedraagt respectievelijk 111, 50 en 73 mg/l.

De Bs- NaCl + -eenheid is de meest uitgebreide eenheid te Elzendamme. Ze bereikt een dikte van ca. 2 m nabij de randen van de IJzervallei tot ca. 7 m in het centrale deel van de vallei.

Het is de kwaliteitszone met de meest uitgesproken kationuitwisseling, vooral dan in de buurt van de IJzercreek waar de insijpeling van zoet infiltratiewater het grootst is. De kationuitwisselingsparameter varieert tussen +5 en +27 meq/l, met de meerderheid van de waarden groter dan +10 meq/l. Overschotten aan Na, K en Mg van respectievelijk 373, 65 en 108 mg/l zijn waargenomen. Het Ca-overschot is ten gevolge van kationuitwisseling teruggevallen tot ca. 30 mg/l.

In deze kwaliteitseenheid kan voor het eerst een uitgesproken sulfaatreductie worden vastgesteld ; aan de basis van de kwaliteitszone bedraagt het SO_4 -tekort reeds 610 mg/l.

De Bs-NaCl₀ -eenheid is een dunne eenheid welke de overgang vormt naar de Bs-NaCl- -eenheid (par. 5.6.4.2.2.4.). De dikte van de eenheid is meestal geringer dan 1 m, plaatselijk kan deze oplopen tot 2 m.

De kationuitwisselingsparameter varieert tussen 0 en -5 meq/l; een tendens tot omgekeerde uitwisseling kan bijgevolg worden vastgesteld, zoals ook blijkt uit het Na-tekort van 75 mg/l.

De basis van de Bs-NaCl₀ -eenheid stemt meer dan waarschijnlijk overeen met de maximale diepte tot waar de recente infiltratie van neerslagwater reikt.

De Bs-NaCl- -eenheid vormt een ca. 3 tot 4 m dikke zone aan de basis van het kwartaire grondwaterreservoir. Ze is gekenmerkt door een uitgesproken negatieve kationuitwisselingsparameter : -5 tot -20 meq/l, wijzend op een omgekeerde kationuitwisseling als gevolg van de verdringing van zoet door zout grondwater. Na vertoont een tekort dat kan oplopen tot 440 mg/l ; het Ca-gehalte is zeer hoog (overschot van 390 mg/l).

Het sulfaattekort is verminderd tot 400 mg/l.

Ter hoogte van boring HSB8 werd het onderzoek uitgebreid tot ca. 15 m in de ondoorlatende tertiaire klei. Het Bs-NaCl- -type grondwater gaat er na ca. 3 m over in het Bs-CaCl- -type, wat een kenmerkend watertype is voor verziltingswater. De kationuitwisselingsparameter varieert dan ook tussen -25 en -40 meq/l. Het Na-tekort bedraagt in dit watertype meer dan 1.000 mg/l ; het overeenkomstige Ca-overschot kan oplopen tot 700 mg/l.

In vergelijking met de poelgebieden te Noordschote is het zoutgehalte van het grondwater verder afgenomen. Het maximaal vastgestelde chloridegehalte bedraagt thans nog 5.300 mg/l, te Noordschote kon nog een chloridegehalte van 10.000 mg/l worden vastgesteld.

Opnieuw vertoont het grondwater verzoetingskenmerken bovenaan en verziltingskenmerken onderaan.

De invloed van de chemische en fysische processen welke verantwoordelijk zijn voor de veranderingen van de grondwatersamenstelling wordt aangetoond met behulp van afzonderlijke kwaliteitsdoorsneden voor elke parameter (plaat 5.26. tot 5.32.). Het betreft de kationuitwisselingsfaktor en de parameters Na*, K*, Mg*, Ca*, Cl, SO₄* en HCO₃.

Het Cl-gehalte (plaat 5.25.) is een maat voor de natuurlijke zeezoutbijdrage in het grondwater. In de doorsnede is een geleidelijke, doch vrij snelle toename van deze parameter vast te stellen met de diepte tot een maximale waarde van 5.300 mg/l. Dit kon worden verwacht daar de recente infiltratie van zoet neerslagwater de zoute waters naar de diepere delen van het grondwaterreservoir heeft verdrongen. Het vrij lage Cl-gehalte aan de randen van de IJzervallei (< 1.000 mg/l) wijst bovendien op de zoete invloed van de aangrenzende zandleemstreek.

Opmerkelijk is dat aan de basis van het grondwaterreservoir, vanaf het Bs-NaCl \emptyset -type grondwater, een duidelijke afname van het Cl-gehalte kan worden vastgesteld, naar het tertiaire substraat, de Ieperiaanklei, toe. Het Cl-gehalte neemt er af tot minder dan 4.000 mg/l. Aldus rust zouter water op zoeter water. Dit verschijnsel kan eenvoudig worden verklaard door de evolutie die het grondwater heeft ondergaan in de loop van de geologische ontwikkeling van de kustvlakte. Deze evolutie maakt het onderwerp uit van par. 5.6.4.2.4. .

In de Ieperiaanklei neemt het Cl-gehalte verder af met de diepte, zoals wordt aangetoond ter hoogte van boring HSB8. Op grotere diepte wordt waarschijnlijk zoet grondwater aangetroffen. Het brak-zoute grondwater aan de top van de Ieperiaanklei is bijgevolg te wijten aan een infiltratie van zout of brak grondwater in de loop van het Kwartair.

De variatie van de kationuitwisselingsparameter met de diepte (plaat 5.26.) weerspiegelt het belang van de kationuitwisseling in de verschillende kwaliteits-eenheden. Het zoete en het zoet-brakke grondwater zijn gekenmerkt door een vrij geringe kationuitwisseling ; aan de randen van de IJzervallei is de kationuitwisseling zeer gering. Het grondwater is er nagenoeg in evenwicht met het sediment als gevolg van de veelvuldige doorstroming met zoet water vanuit de aangrenzende zandleemstreek.

Vanaf het brakke water wordt de kationuitwisseling meer uitgesproken ; ze is het meest intens in het Bs-NaCl+ -type grondwater (kationuitwisselingsparameter > 25 meq/l). Dit watertype vertegenwoordigt de vroegste fase van de kationuitwisseling, bij de aanvang van de verzoeting. De meest intense kationuitwisseling heeft zich voorgedaan onder de IJzer, boven de zone met hoogste Cl-gehalte. Waarschijnlijk valt deze zone samen met een uitstroming van zoet water vanuit de IJzerkreek naar de IJzer en de achterliggende laaggelegen poelgebieden.

Vanaf het Bs-NaCl \emptyset -type water neemt het belang van de kationuitwisseling af om vervolgens in het Bs-NaCl- -type om te keren. Nabij het ondoorlatend substraat neemt het belang van de omgekeerde kationuitwisseling opnieuw af.

In de ondoorlatende Ieperiaanklei ter hoogte van boring HSB8 neemt het belang van de omgekeerde kationuitwisseling eveneens aanvankelijk toe ; de uitwisselingsparameter loopt er op tot nagenoeg - 40 meq/l. Op grotere diepte wordt de omgekeerde kationuitwisseling echter opnieuw minder uitgesproken.

De aanwezigheid van verziltingswater kan, net als de afname van het Cl-gehalte, worden verklaard door de evolutie die het grondwater heeft ondergaan (par. 5.6.4.2.4.).

Het Na*-gehalte (plaat 5.27.) wordt uitsluitend bepaald door kationuitwisseling zodat het lijnenpatroon in de doorsnede haast identiek is aan dit van de kationuitwisselingsparameter : de waters met geringe kationuitwisseling vertonen een laag Na-overschot, deze met uitgesproken kationuitwisseling een hoog Na-overschot, en deze met omgekeerde kationuitwisseling een Na-tekort.

De zone met het grootste Na-overschot valt samen met de zone met de meest uitgesproken kationuitwisseling, dus met het Bs-NaCl+ -type grondwater. Het Na-tekort situeert zich in de onderste zone van het grondwaterreservoir ; nabij het tertiair substraat neemt het Na-tekort, net als het belang van de omgekeerde kationuitwisseling, af.

In de Ieperiaanklei ter hoogte van boring HSB8 wordt, in overeenstemming met de kationuitwisseling, aanvankelijk een toename van het Na-tekort vastgesteld, waarna dit tekort opnieuw afneemt.

Net als voor Na worden de hoogste K-overschotten vastgesteld voor het Bs-NaCl+ -type grondwater (plaat 5.28). Naar de basis van het grondwaterreservoir toe neemt het K-overschot af om over te gaan in een K-tekort in het grondwater met omgekeerde kationuitwisseling. In de Ieperiaanklei kan eerst een afname van het K*-gehalte worden vastgesteld om op grotere diepte opnieuw te stijgen tot positieve waarden.

Opmerkelijk is dat de zone met hoogste K-overschotten niet continue is ; twee deelzones met maximale K*-gehalten kunnen worden vastgesteld. Deze deelzones vallen niet samen met de zone met maximaal Na*-gehalte of maximale kationuitwisseling ; juist ter hoogte van deze zone is het K-gehalte lager waardoor de twee subzones ontstaan.

De doorsnede welke het Mg*-gehalte weergeeft (plaat 5.29.) vertoont een lijnenpatroon met een grotere complexiteit.

De watertypes met geringe kationuitwisseling (zoete en zoet-brakke waters) zijn gekenmerkt door een laag Mg-overschot. Dit overschot neemt toe met de diepte om een maximale waarde van 168 mg/l te bereiken in het Bs-NaCl⁺ -type grondwater. Vanaf het Bs-NaCl⁰ -type neemt het overschot aan Mg af om over te gaan in een Mg-tekort in de onderste zone van het kwartaire grondwaterreservoir. Nabij het tertiair substraat neemt het Mg-tekort opnieuw af.

Het Ca*-gehalte (plaat 5.30.) vertoont in de topzone van het grondwaterreservoir een Ca-overschot van ca. 150 mg/l als gevolg van kalkoplossing.

In de poelgebieden kan vervolgens tot ca. 6 m diepte een afname van het Ca-gehalte worden vastgesteld, plaatselijk tot minder dan 50 mg/l. De verlaging van het Ca*-gehalte is te wijten aan de kationuitwisseling.

Op grotere diepte is het grondwater opnieuw gekenmerkt door een toename van het Ca-overschot, plaatselijk tot meer dan 300 mg/l, thans als gevolg van omgekeerde kationuitwisseling.

Ter hoogte van de IJzerkreek volgt Ca deze tendens niet : een verlaging van het Ca*-overschot kan niet worden vastgesteld en het grondwater met omgekeerde kationuitwisseling is onder de IJzerkreek gekenmerkt door een laag Ca-gehalte. Dit abnormale gedrag van Ca in deze zone is moeilijk te verklaren.

In de Ieperiaanklei, ter hoogte van boring HSB8 kan een toename van het Ca-overschot worden vastgesteld tot een maximale waarde van 700 mg/l op de diepte met de meest intense omgekeerde kationuitwisseling. Met toenemende diepte neemt het Ca-overschot opnieuw af.

De variatie van het SO₄-gehalte met de diepte (plaat 5.31.) toont de invloed van de oxydatie van ijzersulfiden enerzijds en van de sulfaatreductie bij de afbraak van organisch materiaal anderzijds. Het lijnenpatroon in de doorsnede is vrij eenvoudig.

In de topzone van het kwartaire grondwaterreservoir worden hoge SO₄-gehalten vastgesteld, plaatselijk tot +600 mg/l.

Met toenemende diepte kan als gevolg van sulfaatreductie een afname van het sulfaatgehalte worden waargenomen, met uiteindelijk een SO₄-tekort van meer dan 600 mg/l. Nabij het tertiaire substraat neemt het SO₄-gehalte opnieuw toe.

Het HCO₃-gehalte (plaat 5.32.) vertoont in de zoete en zoet-brakke waters normale HCO₃-gehalten tot 500 mg/l. Het zijn waters welke niet door kationuitwisseling en

sulfaatreduktie zijn beïnvloed ; het HCO_3 is bijgevolg volledig afkomstig van de oplossing van kalk.

Het lijnenpatroon op grotere diepte is zeer goed vergelijkbaar met dit van de kationuitwisseling. De hoogste HCO_3 -gehalten worden vastgesteld in de zone met maximale kationuitwisseling ; in de zone met omgekeerde uitwisseling neemt het HCO_3 -gehalte opnieuw af. Dit wijst erop dat in het kationuitwisselingsproces het Ca dat opgenomen wordt door het sediment in ruil voor Na, K en Mg geleverd wordt door de oplossing van CaCO_3 , waardoor het grondwater aangerijkt wordt aan HCO_3 . In de zone met omgekeerde kationuitwisseling wordt het grondwater aangerijkt aan Ca, waardoor het oplosbaarheidsprodukt van CaCO_3 wordt overschreden en neerslag van calciëet optreedt. Ten gevolge hiervan wordt het grondwater armer aan HCO_3 .

Het HCO_3 -gehalte wordt tevens beïnvloed door sulfaatreduktie : de zone met de hoogste HCO_3 -gehalten stemt overeen met de zone met de meest intense sulfaatreduktie ; met afnemende sulfaatreduktie kan eveneens een afname van de HCO_3 -koncentratie worden vastgesteld. De invloed van de sulfaatreduktie op het HCO_3 -gehalte blijkt het duidelijkst ter hoogte van boring HSB10 waar het HCO_3 -gehalte nauwgezet de variatie van het sulfaatgehalte volgt.

5.6.4.2.3.5. De IJzervallei te Stavele

In de IJzervallei te Stavele werd een boring met monsternamen verricht tot 6,0 m diepte ; de grondstalen werden verzameld ter hoogte van de spoelboring HSB18. De variatie van de chemische parameters met de diepte is weergegeven in figuur 5.53. .

Ter hoogte van deze boring wordt zoet grondwater van het CaHCO_3 + en het $\text{CaMix}+$ -type aangetroffen tot 1 m diepte ; tussen 1 en 2 m diepte is zoet-brak grondwater van het $\text{CaMix}+$ -type aanwezig. Beide waters vertonen een lage kationuitwisselingsparameter, hoewel het Na-overschot reeds kan oplopen tot 25 mg/l.

Tussen 2 en 3 m beneden maaiveld is het grondwater brak en achtereenvolgens van het CaHCO_3 + en het $\text{NaCl}+$ -type. De overgang tussen beide types is in hoofdzaak een gevolg van de toenemende zeezoutbijdrage. De kationuitwisselingsparameter is opgelopen tot +8 meq/l. Het overeenkomstige overschot aan Na, K en Mg bedraagt respectievelijk 45, 25 en 70 mg/l.

Op grotere diepte wordt brak-zout grondwater van het NaCl -type aangetroffen. De kationuitwisselingsparameter bedraagt tot ca. 5,5 m diepte +9 meq/l ($\text{NaCl}+$), doch loopt vervolgens terug tot +2 meq/l ($\text{NaCl}\emptyset$). Deze afname van de uitwisselingsparameter is het gevolg van het Na-tekort van 52 mg/l dat het grondwater vanaf

deze diepte kenmerkt. K en Mg vertonen nog steeds een overschot. Het grondwater is nabij het tertiair substraat bijgevolg gekenmerkt door gemengde eigenschappen ; het is vergelijkbaar met het NaCl \emptyset -type grondwater te Elzendamme.

In vergelijking met het grondwater te Elzendamme is het zoutgehalte verder afgenomen ; het maximaal waargenomen chloridegehalte bedraagt nog slechts 2.100 mg/l. Nog steeds rust verzoetingswater op verziltingswater.

5.6.4.2.3.6. De IJzervallei te Roesbrugge

Ter hoogte van de spoelboring HSB45 werd een boring met monstername tot 6,5 m diepte verricht. In het totaal werden 9 grondstalen verzameld. Het gehalte van de verschillende ionen is in functie van de diepte weergegeven op figuur 5.54. .

Te Roesbrugge reikt zoet grondwater reeds tot 2,5 m diepte. Het is van het CaMix+ -type daar het hoge sulfaatgehalte een dominantie van HCO₃ belet. Zoet-brak grondwater, van het NaCl+ -type, is slechts aanwezig in een ca. 0,5 m dikke zone. Vanaf 3 m diepte is het grondwaterreservoir gekenmerkt door het voorkomen van brak grondwater van het NaCl-type. Brak-zout grondwater is niet meer aangetroffen. De kationuitwisselingsparameter is over de gehele diepte gering en varieert tussen -3 en +3 meq/l. De kationuitwisseling als gevolg van de infiltratie van zoet water is het meest uitgesproken op 4,5 m diepte ; het Na, K en Mg-overschot bedraagt er respectievelijk 43, 19 en 16 mg/l (B-NaCl+). Op grotere diepte kan een Na en Mg-tekort van respectievelijk 23 en 30 mg/l worden vastgesteld ; K blijft een overschot van 4 mg/l vertonen. Het grondwater is vanaf 4,5 m diepte bijgevolg gekenmerkt door verziltingsverschijnselen (B-NaCl \emptyset).

In vergelijking met het grondwater te Stavele is het zoutgehalte opnieuw afgenomen ; brak-zout grondwater is niet langer aanwezig. Het maximaal vastgestelde chloridegehalte bedraagt nog slechts 965 mg/l. Nog steeds is verziltingswater aanwezig aan de basis van het grondwaterreservoir.

5.6.4.2.3.7. De IJzervallei te Haringe

In de onmiddellijke omgeving van de Frans-Belgische grens werd een boring met monstername verricht tot 6,5 m diepte. De variatie van de chemische parameters met de diepte is gegeven in figuur 5.55. .

Het zoutste water dat er wordt aangetroffen is het zoet-brakke grondwater dat voorkomt vanaf 5 m diepte. Achtereenvolgens is het NaHCO_3 - en het NaCl -type water aanwezig. Op geringere diepte is het grondwater zoet en van het CaHCO_3 -type. Het grondwater is nog slechts weinig door kationuitwisseling beïnvloed ; de kationuitwisselingsparameter bedraagt gemiddeld + 1,6 meq/l. Verziltingskenmerken worden niet langer vastgesteld.

Het grondwater te Haringe is dus overwegend zoet ; het chloridegehalte bedraagt maximaal 230 mg/l. Het voorkomen van zoet-brak grondwater duidt evenwel op de aanwezigheid van marien grondwater in de Holocene periode. De mariene invloed reikte bijgevolg zeker tot aan de Frans-Belgische grens.

5.6.4.2.3.8. Gradient in zoutgehalte met afstand tot de zee

Een opmerkelijke vaststelling bij de studie van de grondwaterkwaliteit in de poelgebieden is de duidelijke afname van het zoutgehalte van het grondwater naarmate men zich verder van de kustlijn verwijderd. Deze gradient in het zoutgehalte kwam reeds tot uiting in de boorgatmetingen en wordt thans bevestigd door de analyseresultaten op de geëxtraheerde grondstalen. In figuur 5.56 is de variatie van het zoutgehalte tussen Haringe en Avekapelle samengevat.

Het verschil in zoutgehalte lijkt op het eerste zicht eenvoudig te verklaren. Immers, de lage zoutgehalten worden vastgesteld in de randzone van de kustvlakte. Hier mag een vrij belangrijke infiltratie van zoet water worden verondersteld ten gevolge van de afvloeï ervan vanuit de hogergelegen zandleemstreek. Meer zeewaarts is de aanvoer van zoet water veel geringer waardoor het zoutgehalte van het grondwater nog steeds hoog.

Nadere studie van de chemische samenstelling van het grondwater toont echter aan dat de verklaring niet zo eenvoudig is. De verschillen in zoutgehalte worden immers niet enkel vastgesteld in het grondwater dat werd beïnvloed door de recente infiltratie van zoet water, doch eveneens in het grondwater met verziltingskenmerken aan de basis van het kwartaire grondwaterreservoir. Dit verziltingswater is ontstaan door een verdringing van zoet door zout grondwater en dateert dus zeker van voor de definitieve terugtrekking van de zee uit het

kustgebied. Het is dus minstens van Subatlantische ouderdom en werd niet of weinig beïnvloed door de recente verzoeting.

De verschillende verziltingswaters vertonen chemisch dezelfde kenmerken. Het Na + K-tekort ter hoogte van de boring SB48 te Avekapelle bedraagt 686 mg/l ; te Noordschote bedraagt dit tekort gemiddeld 660 mg/l. De beide gebieden zijn dus door een even intense kationuitwisseling beïnvloed. Toch vertoont het grondwater te Avekapelle nagenoeg een dubbel zo hoog chloridegehalte dan te Noordschote. Een verschil in menging met zoet water, en dus een verschillende fase in de kationuitwisseling, kan bijgevolg niet als verklaring worden aangehaald.

De topografische, geologische en hydrologische omstandigheden zijn voor de gehele IJzervallei stroomopwaarts van Pollinkhove nagenoeg gelijk. Het is dan ook weinig waarschijnlijk dat naarmate men de Frans-Belgische grens nadert er een meer intense infiltratie van zoet water zou optreden. Ook dit kan niet als verklaring worden aangehaald voor de afname van het zoutgehalte van het grondwater naar de Frans-Belgische grens toe.

De chemische analyseresultaten op de geëxtraheerde poriënwaters geven bijgevolg aan dat de gradient in zoutgehalte reeds eigen was aan de Holocene periode en niet te wijten is aan een van plaats tot plaats variërende infiltratie van zoet water. De gradient hangt samen met de vormingsgeschiedenis van de westelijke kustvlakte, wat wordt aangetoond in par. 5.6.4.2.4. .

5.6.4.2.4. Evolutie van de grondwaterkwaliteit in de fijnkorrelige poelgebieden van de IJzervlakte

5.6.4.2.4.1. Algemeen

Het voorkomen van de verschillende waterkwaliteiten is in belangrijke mate bepaald door de evolutie die het grondwater heeft ondergaan. Deze evolutie hangt nauw samen met de geologische ontwikkelingsgeschiedenis van de IJzervlakte.

De evolutie van de grondwaterkwaliteit wordt in deze paragraaf geïllustreerd aan de hand van de gedetailleerde kwaliteitsdoorsnede te Elzendamme. Voor dit gebied zijn immers de meeste gegevens beschikbaar. De voorgestelde hypotesen worden vervolgens uitgebreid tot de gehele IJzervlakte.

5.6.4.2.4.2. Evolutie van de grondwaterkwaliteit te Elzendamme

Te Elzendamme (plaat 5.24.) is het grondwater nabij het tertiaire substraat gekenmerkt door een omgekeerde kationuitwisseling, wijzend op de verdringing van zoet door zout grondwater. De hoger voorkomende watertypes met normale kationuitwisseling duiden daarentegen op de verdringing van zout door zoet water. Bijgevolg dienen twee perioden te worden onderscheiden : een periode met zoutwaterintrusie enerzijds en een periode met zoetwaterinfiltratie anderzijds.

Een mogelijk evolutieschema is voorgesteld in figuur 5.57. . Hierbij worden 4 stadia onderscheiden.

De IJzervallei te Elzendamme werd tijdens het Preboreaal uitgeschuurd in de pleistocene sedimenten van Holstein-ouderdom. Er mag worden aangenomen dat deze sedimenten, net als de top van de Ieperiaanklei, in deze periode verzadigd waren met zoet grondwater (fase 1). Het oorspronkelijk aanwezige zoute water in de mariene Holstein-sedimenten werd immers meer dan waarschijnlijk uitgespoeld en vervangen door zoet water tijdens de latere pleistocene perioden. De afname van het zoutgehalte van het grondwater met toenemende diepte in de Ieperiaanklei bevestigt deze stelling.

Tijdens het grootste deel van de Holocene periode, van het Preboreaal tot en met het Subboreaal bleef, zoals reeds aangegeven in hoofdstuk 2, de IJzervallei stroomopwaarts van Pollinkhove buiten het bereik van de mariene invloed (fase 2). Getuige hiervan zijn de nagenoeg uitsluitend venige sedimenten onder het Subatlantische kleidek. De Atlantische periode is in dit gebied slechts vertegenwoordigd door enkele, waarschijnlijk fluviatiele, zandig-lemige interkallaties. Tot aan het Subatlanticum heersten in de IJzervallei bijgevolg continentale afzettingsomstandigheden ; de sedimenten waren dan ook met zoet grondwater verzadigd.

Tijdens het Subatlanticum was de uitbreiding van de mariene invloed in de westelijke kustvlakte maximaal. In deze periode werd de IJzerkreek in de venige sedimenten uitgeschuurd (fase 3). Via deze kreek had thans de zee voor het eerst toegang tot het gebied stroomopwaarts van Pollinkhove en werd zout water geïntroduceerd. De mariene invloed bleef niet beperkt tot de IJzerkreek ; de hoger gelegen veenplaten werden bij stormen periodisch overstroomd waardoor

oppervlakkige plassen werden gevormd. Vanuit deze plassen sijpelde het mariene water naar het grondwaterreservoir, ofwel door infiltratie, ofwel onder invloed van dichtheidsstromingen.

Gelijktijdig was het gebied, zoals nu nog, gekenmerkt door een belangrijke toevoer van zoet water vanuit de aangrenzende zandleemstreek. Het ondiep voorkomend tertiair substraat beperkt er immers in belangrijke mate de infiltratie van het neerslagwater, waardoor het grootste deel ervan afvloeit naar de lager gelegen kustvlakte.

Het zoete water mengde zich met de zoute plassen in de IJzervallei waardoor het zoutgehalte van het plaswater werd verlaagd. In de IJzerkreek mag eveneens een verdunning van het zeewater worden verondersteld. Immers, de kreek zorgde bij eb waarschijnlijk voor de afvoer van het oppervlakkig afvloeiende neerslagwater. De samenstelling van het in de IJzervallei infiltrerende, Subatlantische water was bijgevolg niet gelijk aan deze van zeewater; het zoutgehalte was merkkelijk lager. De verdunning van het zeewater was het minst uitgesproken in de IJzerkreek daar deze regelmatig (bij vloed) met zout water werd gevoed. De rest van de IJzervallei overstroemde slechts sporadisch, bij stormen, waardoor de toevoer van zeewater beperkt bleef en een sterkere menging met zoet water kon optreden. Vanuit de IJzerkreek infiltreerde bijgevolg het zoutste water; in de kreeksedimenten en in de fijnkorrelige sedimenten onder de IJzerkreek worden dan ook de hoogste chloridegehalten in het grondwater vastgesteld (plaat 5.25.). In de omliggende poelgebieden worden lagere gehalten waargenomen.

Het landwaarts afnemende zoutgehalte van het infiltrerende mariene water door menging met zoet water vanuit het binnenland wordt eveneens door andere auteurs in overweging genomen (ENGELLEN & DE RUITER, 1986).

Het infiltrerende mariene water zorgde voor een verdringing van het aanwezige zoete grondwater. De verstoring van het evenwicht tussen grondwater en sediment gaf aanleiding tot omgekeerde kationuitwisseling wat leidde tot het ontstaan van grondwater met verziltingskenmerken: een tekort aan Na, K en Mg en een belangrijk overschot aan Ca. Deze kationuitwisseling was in de beginfase van het Subatlanticum intens doch nam af naarmate de venige sedimenten meermaals met het infiltrerende water werden doorspoeld. De Subatlantische periode had bijgevolg als resultaat dat de sedimenten in de IJzervallei werden verzadigd met brak tot zout verziltingswater, met afnemende verziltingskenmerken naar boven toe. Het verziltingswater was samengesteld uit marien water van Subatlantische ouderdom en ouder zoet water. De gradiënt in het zoutgehalte verliep van boven naar

beneden, d.w.z. met het hoogste zoutgehalte aan de top van het kwartaire grondwaterreservoir.

Nabij het maaiveld was het grondwater meer dan waarschijnlijk in evenwicht met het sediment. Immers, het Subatlantische kleidek werd afgezet in de plassen gevormd door de overstroming van de IJzerkreek. Het kleidek kwam dus tot stand in kontakt met het infiltrerende water waardoor zich een evenwicht kon instellen.

Het feit dat het mariene water zorgde voor de verdringing van het oorspronkelijk aanwezige zoete water komt tot uiting in het chloridegehalte van het grondwater (plaat 5.25.). Aan de basis van het kwartaire grondwaterreservoir neemt het chloridegehalte immers af met de diepte. Deze afname wijst op een geleidelijk toenemende menging met zoet water. Met toenemende diepte zal water met een steeds lager zoutgehalte worden aangetroffen, zoals wordt aangetoond door de boring HSB8, uitgevoerd in de Ieperiaanklei. Deze laat de aanwezigheid van zoet water op grotere diepte vermoeden.

Na de definitieve terugtrekking van de zee op het einde van het Subatlanticum was het gebied opnieuw gekenmerkt door zoete omstandigheden (fase 4). In deze periode was het gebied uiteraard nog niet gekenmerkt door een goed ontwikkeld afwateringssysteem, zodat de lage poelgebieden in de vochtige perioden van het jaar meermaals werden overstroomd, enerzijds door het buiten zijn oevers treden van de IJzer en anderzijds door het vanuit de aangrenzende zandleemstreek in belangrijke hoeveelheden afvloeiende neerslagwater. Het zoete water in de aldus ontstane plassen werd niet afgevoerd door een drainagesysteem; het kon bijgevolg slechts infiltreren naar de watertafel.

De infiltratie van zoet water zorgde voor de verdringing van de verziltingswaters naar de diepere delen van het grondwaterreservoir. De menging van het zoete infiltratiewater met het aanwezige verziltingswater gaf aanvankelijk aanleiding tot het ontstaan van het Bs-NaCl_0 -type grondwater met gemengde kenmerken. De basis van deze kwaliteitseenheid stemt waarschijnlijk overeen met de maximale uitbreiding van de recente verzoeting. Bij de verdere uitspoeling van het mariene verziltingswater door zoet infiltratiewater trad vervolgens een uitgesproken kationuitwisseling op welke leidde tot het ontstaan van het Bs-NaCl^+ -type water. Naarmate de zeezouten meer en meer werden uitgewassen werd het grondwater zoeter en nam het belang van de kationuitwisseling af. Aldus werden achtereenvolgens brak, zoet-brak en zoet water gevormd, met een steeds minder

uitgesproken kationuitwisseling. Het zoete water vertoont nog slechts sporen van kationuitwisseling ; het is nagenoeg in evenwicht met het sediment wegens de veelvuldige doorstroming van het sediment met zoet water.

De oudere, mariene waters werden verdrongen naar de basis van het kwartaire grondwaterreservoir en zelfs tot in het ondoorlatend tertiair kleisubstraat. Op deze wijze rust verzoetingswater op verziltingswater.

Thans is het afwateringssysteem in de IJzervallei sterk verbeterd ; de lage poelgebieden komen nog slechts sporadisch blank te staan. Bovendien infiltreert het overtollige water niet langer naar de watertafel doch wordt nagenoeg volledig afgevoerd via de afwateringsgrachten ; de plassen zijn dan ook vaak na een dag reeds verdwenen. De infiltratie van zoet water in de IJzervallei is nu bijgevolg veel minder intens waardoor de verdere uitspoeling van de mariene waters slechts langzaam voortschrijdt.

5.6.4.2.4.3. Evolutie van de grondwaterkwaliteit tussen Elzendamme en de Frans-Belgische grens

De evolutie van de grondwaterkwaliteit in het gebied stroomopwaarts van Elzendamme (Stavele, Roesbrugge, Haringe) kan worden vergeleken met de toestand te Elzendamme. Immers, de geologische ontwikkelingsgeschiedenis van deze regio is identiek. Ook in dit gebied rust grondwater met verzoetingskenmerken op grondwater met verziltingskenmerken. Zoals te Elzendamme dienen twee fasen te worden onderscheiden : een zoutwaterintrusie enerzijds en een zoetwaterinfiltratie anderzijds.

Verschillend is evenwel het maximale zoutgehalte dat kan worden vastgesteld. Het zoutgehalte van het grondwater neemt immers geleidelijk af naar de Frans-Belgische grens toe. Dit verschil kan moeilijk worden verklaard door een meer intense infiltratie van zoet water (par. 5.6.4.2.3.8.).

De uitbreiding van de IJzerkreek neemt af naarmate men de Frans-Belgische grens nadert ; de kreek reikt bovendien slechts tot Roesbrugge. Waarschijnlijk werd het gebied in de richting van de Frans-Belgische grens steeds minder vaak overstroomd met zout water. Te Elzendamme zal deze overstrooming nog vrij regelmatig zijn opgetreden ; nabij de Frans-Belgische grens zal dit waarschijnlijk nog slechts zeer uitzonderlijk het geval geweest zijn, eventueel bij zeer zware stormen. De aanvoer

van zout water was bijgevolg beperkt, waardoor het afvloeiende zoete water uit de aangrenzende zandleemstreek aanleiding gaf tot een steeds lager zoutgehalte in de oppervlakkige plassen en bijgevolg tot een afnemend zoutgehalte van het infiltrerende mariene water. Nabij de Frans-Belgische grens zal het zoutgehalte van het infiltrerende water waarschijnlijk zeer laag geweest zijn, vandaar dat thans nog slechts matig brak water wordt aangetroffen.

5.6.4.2.4.4. Evolutie van de grondwaterkwaliteit te Noordschote

Net als in de IJzervallei stroomopwaarts van Pollinkhove vertoont het grondwater te Noordschote aan de basis van de kwartaire sedimenten verziltingskenmerken ; hierop rusten verzoetigswaters.

De evolutie van de grondwaterkwaliteit in het gebied te Noordschote is echter meer complex ; thans dienen 5 ontwikkelingsstadia te worden onderscheiden.

Ook hier werd de holocene kustvlakte tijdens het Preboreaal uitgeschuurd in de pleistocene sedimenten van Holstein-ouderdom (fase 1). Deze sedimenten waren verzadigd met zoet water ; het voorkomen van basisveen in dit gebied wijst eveneens op zoete omstandigheden in het Preboreaal en het Boreaale.

Gedurende het Atlanticum (fase 2) lagen de polders rond Noordschote evenwel niet buiten de mariene invloed, getuige de aanwezigheid van kleiige sedimenten daterend uit deze periode. De pleistocene en boreale sedimenten werden bijgevolg meermaals overstroomd met zout water waardoor lagunes met hoofdzakelijk kleisedimentatie werden gevormd. Vanuit deze lagunes infiltreerde het mariene water in de in hoofdzaak zandige pleistocene afzettingen waardoor, zoals te Elzendamme, het aanwezige zoete grondwater werd verdrongen en geleidelijk werd vervangen door marien water met verziltingskenmerken. Waarschijnlijk was het water in de lagunes niet gelijk aan zeewater wegens de menging met oppervlakkig afvloeiend zoet water vanuit de zandleemstreek.

In de lagunes werden de atlantische sedimenten afgezet in evenwicht met het verzadigende water. Bijgevolg waren deze sedimenten gekenmerkt door de aanwezigheid van \emptyset -type waters.

Tijdens het Subboreaale (fase 3) waren de afzettingssomstandigheden hoofdzakelijk zoet, getuige de vorming van het oppervlakteveen. Daar het gebied grensde aan de zandleemstreek mag, zoals ook wordt geopperd door ENGELN & DE RUITER

(1986) voor de Nederlandse polders, worden aangenomen dat door de belangrijke hoeveelheden afvloeiend neerslagwater een insijpeling van zoet water is opgetreden, mogelijk onder invloed van densiteitsverschillen. De genoemde auteurs sluiten zelfs de vorming van zoetwaterlenzen in deze periode als gevolg van een wisselend reliëf in het veenlandschap niet uit.

Het belang van de zoetwaterinfiltratie in de Noordschotepolders kon met de beschikbare gegevens niet worden achterhaald. Uit de vaststellingen gedaan te Avekapelle (par. 5.6.4.2.4.5.) mag evenwel worden aangenomen dat het infiltrerende zoete water waarschijnlijk aanleiding gegeven heeft tot het ontstaan van waters met positieve kationuitwisselingscode (verzoetingswater), of toch zeker zorgden voor een afname van het zoutgehalte in de topzone van de Atlantische sedimenten.

Gedurende het Subatlanticum (fase 4) heersten uitgesproken mariene omstandigheden met opnieuw vorming van lagunes waarin de dekklei werd afgezet. Ook nu werd het zoutgehalte van het water in de lagunes verlaagd door menging met zoet water vanuit de zandleemstreek. Het mariene water infiltreerde, zoals te Elzendamme, in het oppervlakteveen en de Atlantische sedimenten en verving het zoetere water daterend van het Subboreaal waarschijnlijk door verziltingswaters. Dit feit kan evenwel uit de analyseresultaten niet worden afgeleid. Naar de top van het grondwaterreservoir werden de verziltingskenmerken minder uitgesproken en was het grondwater tenslotte in evenwicht met het sediment.

De algemene verzoeting na de definitieve terugtrekking van de zee op het einde van het Subatlanticum (fase 5) zorgde voor de vorming van grondwaters met een normale kationuitwisseling. Het betreft achtereenvolgens brak-zout, brak, matig brak en zoet grondwater met in deze volgorde een steeds minder uitgesproken kationuitwisseling.

Op deze wijze rust verzoetingswater op verziltingswater. Te Elzendamme was het verziltingswater eenduidig van Subatlantische ouderdom. Waarschijnlijk dateert het verziltingswater nabij het tertiair substraat te Noordschote nog gedeeltelijk van het Atlanticum. Verziltingswaters van het Subatlanticum zullen waarschijnlijk eveneens aanwezig zijn (zie punt 5.6.4.2.4.5.).

De beschikbare gegevens bieden echter niet de mogelijkheid te achterhalen tot op welke diepte de Subboreale en Subatlantische invloed zich heeft doen gelden, noch de aanwezigheid van Atlantische waters te bevestigen.

Het voorkomen van oudere grondwaters in de kustvlakte wordt evenwel ondersteund door vroeger onderzoek (DE MOOR & DE BREUCK, 1974 ; DEVOS, 1984). Eerstgenoemde auteurs dateerden het diepere grondwater te Adinkerke aan de Frans-Belgische grens. Het grondwaterstaal werd ontnomen nabij het tertiair substraat uit sedimenten van Eemiaan-ouderdom. Aan het grondwater werd een konventionele C^{14} - ouderdom toegekend van 3.500 jaar BP ; het dateert bijgevolg van het Subboreaal. Door de auteurs werd bovendien de aandacht gevestigd op het feit dat door menging met recent geïnfiltreerd zoet water de C^{14} - datering een te kleine ouderdom kan aangeven, waardoor het grondwater eventueel in het Atlanticum dient te worden geplaatst.

J. DEVOS (1984) dateerde de brakke waters in het duingebied van De Haan ; C^{14} - ouderdommen variërend tussen 2.500 en 8.000 jaar BP werden vastgesteld. Aan eerstgenoemde waters werd een Laat-Subboreale ouderdom toegekend ; de ouderdom van de andere waters werd verklaard door een menging van het mariene water met oud zoet water te veronderstellen. Zelfs dan mag de zoutwaterintrusie, welke aan de basis ligt van de brakke waters, vrij vroeg worden gesitueerd.

De aanwezigheid van oudere Holocene waters nabij het tertiaire substraat mag bijgevolg zeker niet worden uitgesloten. De vroeger veel geciteerde opvatting dat het zoute grondwater in de kustvlakte volledig te wijten zou zijn aan de Subatlantische transgressies is voorbarig.

Te Noordschote is het grondwater gekenmerkt door een duidelijk hoger zoutgehalte dan te Elzendamme. Dit verschil kan worden verklaard door het feit dat de polders te Noordschote veel langer en meer intens onderhevig waren aan de mariene invloed, thans niet enkel in het Subatlanticum maar ook reeds in de Atlantische periode. Bovendien had de zee gemakkelijker toegang tot de polders te Noordschote. Als gevolg hiervan is het mariene karakter van het grondwater in de polders rond Noordschote uiteraard veel meer uitgesproken dan in de IJzervallei stroomopwaarts Pollinkhove.

5.6.4.2.4.5. De IJzervlakte te Avekapelle - Pervijze

In het gebied rond Avekapelle kunnen dezelfde evolutiestadia worden onderscheiden als te Noordschote. Een mogelijk evolutieschema is gegeven in figuur 5.58 .

Nabij het tertiaire substraat worden plaatselijk nog pleistocene sedimenten aangetroffen welke verzadigd waren met zoet grondwater. De pleistocene sedimenten zijn in dit meer zeewaarts gelegen gebied evenwel grotendeels verdwenen door de diepe Holocene uitschuring van de kustvlakte (fase 1).

Tijdens het Atlanticum was het gebied onderhevig aan de mariene invloed, mede door de aanwezigheid van de Avekapellekreek (fase 2). Vanuit deze kreek werden de omliggende gebieden overstroomd met zeewater waardoor lagunes werden gevormd. De atlantische sedimenten werden afgezet in evenwicht met zeewater ; het zoete water in de pleistocene sedimenten werd uitgespoeld en vervangen door grondwater met verziltingskenmerken. Het zeewater in de lagunes werd thans echter niet of slechts in verwaarloosbare mate verdund door menging met zoet oppervlaktewater. Het gebied te Avekapelle is immers vrij ver van de zandleemstreek gesitueerd ; de aanvoer van zoet water bleef bijgevolg beperkt. De poelgebieden in dit gebied vertonen dan ook grondwater met een chloridegehalte vergelijkbaar met dit van zeewater.

In het Subboreaal trad waarschijnlijk een vrij belangrijke infiltratie van zoet water op, zoals verder zal blijken (fase 3). Dit zoete water verdunde de Atlantische mariene waters en gaf waarschijnlijk aanleiding tot het ontstaan van grondwater met een normale kationuitwisseling.

In het Subatlanticum (fase 4) was het gebied opnieuw gekenmerkt door mariene afzettingssomstandigheden ; lagunes met kleisedimentatie werden gevormd. Vanuit deze lagunes infiltreerde zeewater dat de verzoetingswaters van het Subboreaal verdrong en deze voor een deel verving door water met verziltingskenmerken. Aan de top van het grondwaterreservoir was het water in evenwicht met het sediment.

De recente verzoeting na het definitieve terugtrekken van de zee uit het kustgebied (fase 5) gaf aanleiding tot een vrij geringe verzoeting van het grondwaterreservoir met het ontstaan van achtereenvolgens brak-zout, brak, zoet-brak en zoet grondwater, alle met normale kationuitwisseling.

Daar geen volledig tot aan het tertiair substraat bemonsterde boring in dit gebied beschikbaar is kan de huidige uitbreiding van de verschillende evolutiestadia niet eenduidig worden vastgelegd. De gegevens beschikbaar voor de boringen SB44 en SB48 laten evenwel toe een aantal hypotesen naar voor te brengen.

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 5.6.4.2.3.2. rust ter hoogte van de boring SB 44 ca. 1,5 m verzoetingswater op verziltingswater met uitgesproken tekorten aan Na. De verziltingskenmerken zijn het meest uitgesproken op 5,5 m diepte om vervolgens snel in belang af te nemen. Deze afname gaat tevens gepaard met een vermindering van het zoutgehalte van het grondwater ; een overgang van S-type waters naar Bs-type waters kan worden vastgesteld (Cl-gehalte van 11.000 naar 8.000 mg/l). Ter hoogte van de boring SB48 is het verziltingswater gevat tussen verzoetingswaters bovenaan en onderaan. Nabij het tertiair substraat zijn de verziltingskenmerken opnieuw zeer uitgesproken.

Het is bovendien opmerkelijk dat de bovenste zone met verziltingswaters voorkomt juist in en onder het oppervlakteveen. Boven het veen zijn verzoetingswaters aanwezig ; op grotere diepte onder het veen nemen de verziltingskenmerken en het zoutgehalte af of kunnen opnieuw verzoetingswaters worden waargenomen.

Het voorkomen van de verschillende waterkwaliteiten kan er op wijzen dat het verziltingswater op geringe diepte van Subatlantische ouderdom is en het gevolg is van de verdringing van Subboreaals zoet water. Op grotere diepte is dan waarschijnlijk nog verzoetingswater van het Subboreaals aanwezig dat slechts weinig door het Subatlanticum is beïnvloed. De infiltratie van zeewater in het Subatlanticum zou bijgevolg slechts gereikt hebben tot maximaal 8 à 10 m diepte.

Dat de verziltingskenmerken afnemen met de diepte om vervolgens opnieuw zeer uitgesproken te zijn nabij het tertiair substraat duidt erop dat de beide verziltingswaters niet van dezelfde oorsprong zijn. Ter hoogte van de boring SB48 worden ze trouwens gescheiden door verzoetingswaters. Deze vaststelling lijkt aan te tonen dat het diepste grondwater in de kwartaire sedimenten een overblijfsel vormt van de Atlantische verziltingswaters.

Bijgevolg zou de huidige uitbreiding van de verschillende evolutiestadia van boven naar onder als volgt kunnen worden samengevat : recent verzoetingswater tot 1 à 3 m diepte, gemengd Subatlantisch en Subboreaals water tot ca. 8 m diepte, gemengd Subboreaals en Atlantisch water tot enkele meters boven het tertiair substraat en tenslotte gemengd Atlantisch en pleistoceen water nabij het tertiair substraat.

6. MATEMATISCH MODEL

6.1. Inleiding

Om de evolutie van de grondwaterkwaliteit na de definitieve terugtrekking van de zee uit het studiegebied te simuleren werd een mathematisch model opgesteld. Het model berekent uitgaande van hydraulische parameters en randvoorwaarden de stijghoogteconfiguratie en de grondwaterkwaliteitsverdeling. Het biedt niet enkel de mogelijkheid de evolutie van de grondwaterkwaliteit te rekonstrueren doch laat tevens toe het effect van ingrepen in het hydrogeologisch systeem van het gebied te evalueren.

Het aangewende model is het twee-dimensionale komputermodel van KONIKOW & BREDEHOEFT (1978) waarbij het transport van conservatieve opgeloste stoffen in stromend grondwater wordt bestudeerd. De gehalten van een opgeloste stof op een bepaalde plaats zijn het resultaat van het transport van die stof door het bewegend grondwater. Verschillen in concentratie worden toegeschreven aan de grondwaterstroming.

6.2. Teoretische achtergronden van het model van KONIKOW & BREDEHOEFT

Koncentratieveranderingen in bewegend grondwater zijn hoofdzakelijk te wijten aan vier verschillende processen :

- konvektietransport, waarbij opgeloste stoffen meebewegen met het stromende water ;
- hydrodynamische dispersie, bestaande uit moleculaire en ionaire diffusie enerzijds en mechanische dispersie anderzijds. Hierdoor wijkt de gevolgde weg van de opgeloste deeltjes af van de gemiddelde richting waarin het grondwater beweegt ;
- kontakt met water van een verschillende samenstelling, bijvoorbeeld door infiltratie, of door kontakt met oppervlaktewater ;
- reakties, waarbij opgeloste bestanddelen aan het water toegevoegd of eruit verwijderd kunnen worden. Deze reakties kunnen optreden in het water zelf, of tussen het water en het vaste materiaal dat de watervoerende laag opbouwt.

Het mathematisch model berekent concentratievariëaties in de tijd, veroorzaakt door konvektietransport, hydrodynamische dispersie en vermenging van verschillende waterkwaliteiten. Hierbij wordt aangenomen dat geen reacties optreden die de concentratie van het beschouwde opgeloste bestanddeel veranderen en dat de snelheidsverdeling niet beïnvloed wordt door viscositeits- of temperatuursgradiënten. In oorsprong werd in het model ook de invloed van dichtheidsgradiënten buiten beschouwing gelaten. Het computerprogramma werd gewijzigd zodat het effect van dichtheidsverschillen in rekening kan worden gebracht (LEBBE, 1983).

Het model lost gelijktijdig twee partieel-differentiaalvergelijkingen op. De eerste vergelijking is de grondwaterstromingsvergelijking, welke de zoetwaterstijghoogte-konfiguratie bepaalt. De tweede vergelijking is de opgeloste-stoffenvergelijking, die de concentratie van de opgeloste stoffen aangeeft.

De grondwaterstromingsvergelijking wordt afgeleid met behulp van de wet van Darcy en van de continuïteitswet. De Darcy-vergelijking is uitgebreid teneinde dichtheidsverschillen in rekening te brengen (LEBBE, 1983). De stromingsvergelijking wordt gediskretiseerd in een rechthoekig eindig-verschilnetwerk waarbij de vergelijking voor de grondwaterbeweging wordt opgelost met de afwisselende-richtingstechniek. Nadat de stijghoogteverdeling is berekend wordt voor elk knooppunt de snelheid van de grondwaterstroming afgeleid.

Voor het oplossen van de vergelijking voor het transport van de conservatieve opgeloste stoffen wordt de methode van de karakteristieken angewend. Deze methode bestaat vooreerst in een "particle-tracking"-procedure, die alleen konvektietransport voorstelt. In elke cel van het model wordt initieel een gelijk aantal deeltjes geplaatst, waaraan een bepaalde beginkoncentratie wordt toegekend, en die gedurende een tijdstap met het water mee bewegen. De verplaatsing van de deeltjes gedurende een bepaalde tijdstap wordt afgeleid uit de Darcy-stroomsnelheid op de plaats van het deeltje. De duur van de verplaatsing is functie van de injectiesnelheid, de stroomsnelheid of de dispersiecoëfficiënt. Na elke tijdstap wordt de nieuwe positie van elk deeltje berekend.

Vervolgens wordt de eindig-verschilvergelijking opgelost, die het effect beschrijft van hydrodynamische dispersie, menging met water van een andere kwaliteit, en

snelheids- en diktevariaties. Aan de hand van deze oplossing wordt de oorspronkelijke concentratie van elk deeltje aangepast.

Na iedere opgegeven tijdstap wordt uit de bekomen concentratie het drijfvermogen afgeleid. Dit is de verhouding van het verschil tussen de dichtheid van het water met een bepaalde concentratie en de dichtheid van zoet water tegenover de dichtheid van zoet water. Een eenvoudig lineair verband tussen de concentratie en de dichtheid wordt aangenomen.

Met het nieuwe drijfvermogen tussen de verschillende knooppunten na iedere tijdstap wordt een nieuwe zoetwaterconfiguratie berekend, waaruit dan een nieuw stromingspatroon wordt afgeleid.

Het model is gekoppeld aan een tekenprogramma, waarbij de berekende zoetwaterstijghoogten, de snelheidsvectoren van de grondwaterstroming en de kwaliteitsverdeling onder de vorm van zoetwaterpercentages worden verkregen.

6.3. Het modelgebied

Het model van KONIKOW & BREDEHOEFT werd toegepast op de Avekapellekreek en de omliggende poelgebieden. De tweedimensionale simulatie kan gebeuren zowel in een horizontaal als in een vertikaal vlak. Gelet op het belang van de gelaagdheid bij de simulatie van de verdeling van zoet en zout grondwater diende het probleem vertikaal te worden beschouwd.

De simulatiedoorsnede valt samen met de litologische doorsnede op plaat 2.4. en de kwaliteitsdoorsnede op plaat 5.2. . De doorsnede wordt bedekt met een netwerk van gelijke rechthoekige cellen die zijn ingedeeld in een aantal lagen en kolommen. In het totaal beslaat het netwerk 1440 cellen, verdeeld in 60 kolommen en 24 lagen. De breedte van een kolom bedraagt 60 m, wat de totale lengte van de doorsnede op 3600 m brengt ; een laag is 1 m dik (plaat 6.1.).

De numerieke procedure van het programma vereist dat het modelgebied aan alle zijden omgeven is door een ondoorlatende grens ; deze voorwaarde wordt automatisch gespecificeerd in de eerste en laatste laag en in de eerste en laatste kolom van het model. Deze cellen vormen geen deel van het modelgebied waardoor de eigenlijke simulatiedoorsnede is opgebouwd uit 58 kolommen en 22 lagen.

Van deze kolommen vertegenwoordigen er 31 (kolom 11 tot 41) de zandige sedimenten van de Avekapellekreek ; de overige kolommen, 9 ten noorden en 18 ten zuiden van de kreek, vormen de poelgronden.

De lagen hebben betrekking op het kwartaire grondwaterreservoir vanaf de watertafel tot aan het ondoorlatende tertiaire substraat. De onverzadigde zone wordt buiten beschouwing gelaten

Uitgaande van de doorsnede doorheen de Avekapellekreek worden diverse situaties gesimuleerd.

6.4. Simulatie van het ontstaan van de zoetwaterlens in de Avekapellekreek

6.4.1. Algemeen

De simulatie van de vorming van de zoetwaterlens biedt niet enkel de mogelijkheid een inzicht te verwerven in de evolutie van de grondwaterkwaliteit na de definitieve terugtrekking van de zee uit het gebied, doch laat eveneens toe het aangewende model te ijken. De berekende situatie is immers deze die thans op het terrein kan worden waargenomen.

Ijking van het model geschiedt door vergelijking van de berekende en op het terrein waargenomen grondwaterkwaliteitsverdeling. De invoerparameters worden aangepast tot een voldoende overeenstemming tussen de berekende en de waargenomen toestand wordt verkregen. Het model is dan geijkt en kan worden aangewend voor de simulatie van de invloed van kunstmatige ingrepen in het hydrogeologische systeem.

6.4.2. Invoergegevens

6.4.2.1. Horizontale doorlatendheid

De horizontale doorlatendheid wordt in het model ingevoerd met behulp van een matrix, waarbij aan elke cel van het netwerk een waarde voor de doorlatendheid wordt toegekend.

De waarden voor de horizontale doorlatendheid van de kreeksedimenten zijn gebaseerd op deze afgeleid met het model "SIMTES" uit de dubbele pompproef in de

Avekapellekreek. Bij het opstellen van het mathematisch model was het invers model "INPURE" voor de interpretatie van pompproeven nog niet beschikbaar.

De horizontale doorlatendheid van de poelgebieden werd berekend uitgaande van een uit andere pompproeven afgeleide weerstand voor slecht doorlatende kwartaire leem- en kleilagen van ca. 40 dagen per meter afzetting. Een dergelijke weerstand stemt overeen met een verticale doorlatendheid van 0,025 m/d, waaruit, rekening houdend met een waarde voor de anisotropie van 0,10 (par. 6.4.2.2.), een horizontale doorlatendheid van 0,25 m/d volgt.

De ingevoerde doorlatendheden zijn samengevat in tabel 6.1. .

Tabel 6.1. Waarden voor de horizontale doorlatendheid aangewend in het model van KONIKOW & BREDEHOEFT.

litologische eenheid	k_h (m/d)
kreekgebieden	
facies K8,1	8,00
facies K8,2,1	5,00
facies K8,2,2	2,50
facies K8,3	12,50
facies K8,4	5,00
poelgebieden	0,25

Zoals blijkt uit hoofdstuk 3 zijn de waarden voor de horizontale doorlatendheid van de verschillende facies in de Avekapellekreek, gevonden met het model "SIMTES" te laag. De eigenlijke doorlatendheden van de facies K8,2,1 en K8,3 bedragen respectievelijk 11,4 m/d en 19,9 m/d. Enkele simulaties, uitgevoerd met sterk uiteenlopende k-waarden hebben echter aangetoond dat deze te kleine k-waarden de resultaten niet significant wijzigen.

6.4.2.2. Anisotropie

De anisotropie is de verhouding van de transversale tot de laterale doorlatendheid, of daar de gelaagdheid van de lagen meestal horizontaal is, van de verticale doorlatendheid k_v tot de horizontale doorlatendheid k_h .

Daar voor de simulatie van de vorming van de zoetwaterlens vooral de kreekgebieden van belang zijn werd in het model een waarde voor de anisotropie ingevoerd welke kenmerkend is voor deze sedimenten. De anisotropie werd afgeleid uit de hydraulische parameters van de slecht doorlatende laag in de dubbele pompproef in de Avekapellekreek.

De weerstand van deze laag bedraagt 14 dagen voor een dikte van 4,0 m. Een dergelijke weerstand stemt overeen met een verticale doorlatendheid k_v van 0,286 m/d. Rekening houdend met een horizontale doorlatendheid van deze laag van 2,50 m/d kan de anisotropie k_v/k_h worden geraamd op 0,10. Deze waarde werd dan ook in het model ingevoerd.

6.4.2.3. Dispersiecoëfficiënt

Het verschijnsel dispersie slaat op de onomkeerbare menging van twee mengbare vloeistoffen die elkaar verdringen in een poreus medium.

De hydrodynamische dispersie bestaat enerzijds uit moleculaire diffusie, veroorzaakt door concentratiegradienten, en anderzijds uit mechanische dispersie ten gevolge van snelheidsvariaties, veroorzaakt door de stroming en de karakteristieken van het midden (bestaan van een poriënsysteem, verschillen in de doorlatendheid) (BEAR, 1969). Bij afwezigheid van stroming is er geen mechanische dispersie, enkel diffusie.

Op mikroskopische schaal resulteert hydrodynamische dispersie hoofdzakelijk uit diffusie en mikroskopische veranderingen van de snelheid in de poriën.

Veldwaarnemingen leveren echter aanzienlijk grotere waarden op. Hier wordt een makroskopische dispersie bepaald, veroorzaakt door de stromingsonregelmatigheden te wijten aan de heterogeniteit van de geologische materialen. Deze heterogeniteit vertaalt zich naar kontrasterende doorlatendheden. De makroskopische dispersie wordt groter naarmate de heterogeniteit van het poreus medium toeneemt en wordt in die zin beïnvloed door de schaal : op kleine schaal is

de heterogeniteit groter, en dus ook de dispersie. Het effect van makroskopische dispersie is meestal veel belangrijker dan dat van mikroskopische dispersie. In het model van KONIKOW & BREDEHOEFT wordt de moleculaire en ionaire diffusie dan ook verwaarloosd.

De dispersiecoëfficiënt wordt in het model ingevoerd onder de vorm van de dispersiviteit. We onderscheiden longitudinale en transversale dispersiviteiten, in overeenstemming met de longitudinale en transversale dispersiecoëfficiënten :

$$D_L = \alpha_L |V|$$

$$D_T = \alpha_T |V|$$

met :

- D_L = longitudinale dispersiecoëfficiënt (m^2/d)
- D_T = transversale dispersiecoëfficiënt (m^2/d)
- α_L = longitudinale dispersiviteit (m)
- α_T = transversale dispersiviteit (m)
- $|V|$ = absolute waarde van de snelheid (m/d)

In het model worden waarden ingevoerd voor α_L en voor de verhouding α_L / α_T .

De ingevoerde waarden stemmen overeen met deze bekomen bij de studie van de zoetwaterlens onder de Binnenduinen van Adinkerke-Ghyvelde (LEBBE & PEDE, 1986). De aangewende longitudinale dispersiviteit bedraagt bijgevolg 0,16 m ; de verhouding α_L / α_T werd gelijk gesteld aan 0,05.

6.4.2.4. Porositeit

In het model van KONIKOW & BREDEHOEFT kan voor de porositeit slechts één waarde worden ingevoerd. Zowel voor zanden als voor kleien diende dus éénzelfde porositeit gebruikt te worden.

In het model werd de porositeit gelijk gesteld aan 0,3.

6.4.2.5. Aantal deeltjes per cel bij aanvang

In het model van KONIKOW & BREDEHOEFT is het aantal deeltjes in het gehele netwerk beperkt tot 9999. Daar het netwerk 1440 cellen omvat kunnen bijgevolg maximaal 6 deeltjes aan elke cel worden toegekend. De keuzemogelijkheden zijn

evenwel beperkt tot 3, 5 of 9 deeltjes per cel zodat in elke cel 5 deeltjes werden ondergebracht.

6.4.2.6. Tijdstap

De tijdstap bepaalt na welke tijdsduur de concentraties opnieuw worden berekend. Hoe kleiner de tijdstap hoe nauwkeuriger de simulatie wordt uitgevoerd, doch hoe meer komputertijd is vereist. Uit praktisch oogpunt dient hierbij naar een passend evenwicht te worden gezocht.

Een tijdstap van 5 jaar bleek voor het beschouwde probleem een goede keuze. Een grotere tijdsstap zorgde immers voor instabiliteiten in het model ; een kleinere tijdsstap voor een zeer lange rekentijd en een onnodig groot verbruik van komputergeheugen.

6.4.3. Randvoorwaarden

Drie soorten van randvoorwaarden worden in het model aangewend :

- een ondoorlatende grens
- een vaste stijghoogtegrens
- een infiltratiegrens (neerslag).

De ondoorlatende grens kan aan elke willekeurige cel van het model worden toegekend. Ze wordt gedefinieerd door in de beschouwde cel de horizontale doorlatendheid gelijk te stellen aan nul.

De vaste stijghoogtegrens wordt eveneens gedefinieerd in een willekeurige cel binnen in het modelgebied. De resulterende toe- of afvloeï naar of uit de cel komt overeen met de flux vereist om de stijghoogte in de cel op het aangeduide peil te houden. Wanneer er vanuit een vaste stijghoogtegrenscel water het model binnentreedt, moet voor deze bron ook de concentratie opgegeven worden.

De infiltratie in een cel (bijvoorbeeld neerslag) wordt ingegeven onder de vorm van een snelheid. Deze kan worden afgeleid uit de neerslaghoeveelheid per jaar. (mm/jaar) welke in feite met een snelheid overeenstemt.

In het model zijn de linker- en rechtergrens (kolommen 2 en 59) gedefinieerd als vaste stijghoogtegrenzen, waarlangs water het model kan binnentreden of uitvloeien. Daar deze grenscellen gesitueerd zijn in de weinig doorlatende poelgebieden werd aan de cellen de concentratie 0 (zout water) toegekend. Indien vanuit deze grenzen water het model binnentreedt betreft het bijgevolg zout water. De vaste stijghoogten werden zo gedefinieerd dat geen verticale stroming langsheen deze grens optreedt. Vermits het aanwezige grondwater zout is dient bijgevolg de opgegeven stijghoogte toe te nemen met 0,025 m per meter diepte.

Voor de ondergrens van het model diende geen randvoorwaarde te worden opgegeven. Deze grens wordt gevormd door de Ieperiaanklei en is bijgevolg ondoorlatend, een voorwaarde die reeds vervat is in de ondoorlatende grens die het model aan alle zijden omgeeft.

De bovengrens van het model is gekenmerkt door twee soorten van randvoorwaarden. De kolommen welke deel uitmaken van de Avekapellekreek (kolom 11 tot 41) werden gekarakteriseerd door een infiltratiegrens met concentratie 100 (zoet water).

In vroegere studies op het strand van De Panne (LEBBE, 1983 ; 1984) en in de Binnenduinen van Adinkerke-Ghyvelde (LEBBE & PEDE, 1986) werd de infiltratie van neerslagwater steeds gelijk gesteld aan 280 mm/jaar. Uit de waterbalans van de onverzadigde zone (hoofdstuk 4) werd voor de IJzervlakte de nuttige neerslaghoeveelheid geraamd op maximaal 229 mm/jaar. Indien deze waarden in het model worden ingevoerd worden stijghoogten berekend tot het peil +11, d.w.z. ca. 8 m boven het maaiveld. De neerslaginfiltratie in de Avekapellekreek is bijgevolg duidelijk geringer. Bij een geleidelijke vermindering van de neerslaghoeveelheid wordt een grondwaterpeil net onder het maaiveld verkregen bij een infiltratie van slechts 35 mm/jaar.

Omdat het hier een zeer lage waarde betreft werd nagegaan of de neerslaginfiltratie in het model afhankelijk is van eventuele foutieve invoerparameters. Enkele simulaties met verschillende waarden voor de horizontale doorlatendheid van de kreeksedimenten en voor de anisotropie werden uitgevoerd.

Voor het bepalen van de invloed van de horizontale doorlatendheid werd uitgegaan van een nuttige neerslaghoeveelheid van 100 mm/jaar en homogene kreeksedimenten met slechts één k-waarde. De meest voorkomende k-waarde is

deze van 5,0 m/d. Voor de nuttige neerslag van 100 mm/jaar werd de horizontale doorlatendheid bepaald welke een stijghoogte juist beneden het maaiveld (peil +3,9) oplevert. De resultaten van dit onderzoek zijn samengevat in tabel 6.2.

Tabel 6.2. Stijghoogte in de Avekapellekreek bij een nuttige neerslaghoeveelheid van 100 mm/jaar en diverse waarden voor de horizontale doorlatendheid van de kreek sedimenten.

k-waarde (m/d)	stijghoogte
5	+ 5,72
10	+ 4,75
20	+ 4,20
25	+ 3,66

Uit de tabel blijkt dat een verhoging van de nuttige neerslaghoeveelheid van 35 mm/jaar tot 100 mm/jaar een verviervoudiging van de horizontale doorlatendheid van de kreek sedimenten vereist. Een dergelijke aanpassing van de doorlatendheid is uiteraard te verwerpen. De simulaties tonen bijgevolg aan dat de lage neerslaginfiltratie in het model zeker niet is te wijten aan de invoer in het model van te lage k-waarden.

De anisotropie heeft eveneens weinig tot geen invloed op de hoeveelheid nuttige neerslag. Een tienmaal hogere anisotropie, van 0,1 naar 1,0, levert immers eenzelfde stijghoogte op.

De nuttige neerslaghoeveelheid wordt bijgevolg niet in belangrijke mate beïnvloed door de in het model ingevoerde parameters, zodat de waarde van 35 mm/jaar wel degelijk verantwoord is. Deze waarde diende dan ook in het model te worden ingevoerd.

De werkelijke infiltratiehoeveelheid in de Avekapellekreek ligt waarschijnlijk hoger dan 35 mm/jaar. Immers, het model veronderstelt dat er zich loodrecht op het gekozen vlak geen veranderingen voordoen. Bij het simuleren van een doorsnede wordt dus aangenomen dat loodrecht erop dezelfde doorsnede zich tot in het oneindige herhaalt. De beschouwde simulatiedoorsnede beantwoordt niet

volledig aan deze voorwaarde ; met de afvloeï van grondwater naar de oppervlaktewaters voor en achter het vlak van de doorsnede (Kromme Gracht en Oude Aa-Vaart) wordt geen rekening gehouden.

De zeer lage waarde van 35 mm/jaar laat ondanks deze onvolkomenheid van het model toch toe te besluiten dat de nuttige neerslaghoeveelheid, d.w.z. de neerslag die effectief de grondwatertafel bereikt, in de kreekgebieden van de IJzervlakte aanzienlijk lager is dan uit de meteorologische gegevens kan worden afgeleid.

Aan de kolommen welke de poelgebieden uitmaken werd een ondoorlatende grens of een vaste stijghoogtegrens toegekend. De hoeveelheid neerslagwater welke in de poelgebieden infiltreert is immers gering. Aan de cellen met vaste stijghoogtegrens werd de concentratie 100 (zoet water) toegekend. Het water dat het model eventueel langs deze cellen binnentreedt is neerslagwater en dus zoet.

De afwateringskanalen worden in het model ingevoerd als cellen met een vaste stijghoogtegrens en een concentratie 100. Het opgeven van deze concentratie is niet echt van belang daar ter hoogte van deze kanalen water uit het model zal treden.

Voor de beschouwde doorsnede zijn twee oppervlaktewaters van belang : de Kromme Gracht ten noorden van de Avekapellekreek en het Zoutenaaleed ten zuiden ervan.

6.4.4. Vorming van de zoetwaterlens

6.4.4.1. Beschouwde evolutiestadia en korresponderende randvoorwaarden

In de vorming van de zoetwaterlens worden drie fasen verondersteld ; de tijdsduur van de fasen is arbitrair gekozen. In de aanvangstoestand wordt uitgegaan van een grondwaterreservoir dat volledig is verzadigd met zout grondwater met een samenstelling gelijk aan deze van zeewater (concentratie 0). Dit zoute water wordt geleidelijk verdrongen door infiltrerend zoet neerslagwater (concentratie 100). De tussenliggende concentraties worden berekend volgens het principe dat werd aangewend voor de berekening van de zoetwaterpercentages bij het kwaliteitsonderzoek met boorgatmetingen (par. 5.5.1.3.).

In de drie evolutiefasen worden in het model telkens andere randvoorwaarden ingegeven, afhankelijk van het afwateringssysteem in het gebied in de in elke fase beschouwde periode.

De eerste evolutiefase vangt aan na de definitieve terugtrekking van de zee, hier gesteld op 1200 na Chr., en reikt tot 1800 na Chr. Er wordt aangenomen dat in deze periode de afwatering van het gebied nog weinig was ontwikkeld. Op basis van de huidige kwaliteitsverdeling en op basis van oude kaarten van het studiegebied (LEPER, 1954) kan worden besloten dat de Kromme Gracht in deze periode reeds aanwezig was ; het Zoutenaaieland daarentegen niet. Bij aanwezigheid van het Zoutenaaieland kan het ontstaan van de huidige zoetwaterzone in de poelgebieden ten zuiden van de Avekapellekreek (plaat 5.2.) immers niet worden verklaard met het mathematisch model. Waarschijnlijk is het Zoutenaaieland in een latere periode gegraven als verbinding tussen de Kromme Gracht en de Oude Aa-Vaart met het oog op de ontwatering van de natte poelgebieden ten zuiden van de Avekapellekreek.

De simulatiedoorsnede is in deze eerste fase dan ook gekenmerkt door slechts één afwateringskanaal, ten noorden van de Avekapellekreek.

Het polderpeil wordt na de terugtrekking van de zee nog relatief hoog verondersteld ; de vaste stijghoogtegrens in de poelgebieden is gelegen op het peil +2,8, d.w.z. nagenoeg gelijk met het maaiveld. Het peil van de Kromme Gracht was waarschijnlijk slechts een weinig lager gelegen, in het model op het peil +2,6. Met een neerlagwaterinfiltratie van 35 mm/jaar is ook de zoetwaterstijghoogte in de kreek juist beneden het maaiveld gesitueerd.

In de tweede fase, welke 150 jaar in beslag neemt (1800-1950) wordt een verbetering van de afwatering in het gebied verondersteld, met een verlaging van het polderpeil tot +2,4 (LEPER, 1954). Ook wordt thans het Zoutenaaieland wel in beschouwing genomen. Het peil van de beide oppervlaktewaters bedraagt in deze fase +2,2 ; de infiltratie van neerslagwater geschiedt nog steeds met 35 mm/jaar.

In de derde en laatste fase wordt aangenomen dat gedurende de laatste 40 jaar het afwateringssysteem aanzienlijk is verbeterd. Getuige hiervan zijn de relatief lage stijghoogten die thans worden vastgesteld. Om deze verbeterde situatie te kunnen simuleren werden alle stijghoogten in overeenstemming gebracht met de op het terrein waargenomen stijghoogten : een gemiddeld polderpeil van +2,1, een gemiddeld waterpeil in de oppervlaktewaters van +1,9 en een gemiddelde stijghoogte in de Avekapellekreek van +2,4. In de Avekapellekreek werd een verhang geïnduceerd zoals op het terrein waargenomen.

6.4.4.2. Resultaten

6.4.4.2.1. Algemeen

Het grondwaterstromingspatroon en de kwaliteitsverdeling voor de drie evolutiefasen zijn weergegeven op de platen 6.2.a en 6.2.b. Voor fase 1 zijn de resultaten voorgesteld na 10, 100, 200, 400 en 600 jaar na de definitieve terugtrekking van de zee uit het gebied. Voor fase 2 zijn de resultaten gegeven na 10 (610 j.), 75 (675 j.), en 150 (750 j.) jaar ; voor fase 3 na 10 (760 j.) en 40 (790 j.) jaar. Deze laatste situatie stemt overeen met de huidige toestand.

De zoetwaterstijghoogten en de kwaliteitsverdeling zijn weergegeven door lijnen ; de pijltjes stellen de lineaire snelheidsvectoren voor. Hun grootte is weergegeven als een afstand. Hiertoe dient men de snelheid in een cel te vermenigvuldigen met een tijdsfaktor. De tijdsfaktor voor deze simulaties bedraagt 1 jaar of 365,25 dagen.

Bij het tekenen van de snelheidsvectoren is rekening gehouden met de schaal langs de X-as (1 : 10.000) en met de overdrijving van de hoogteschaal (dertig maal). Een pijltje van 0,2 cm lengte evenwijdig aan de X-as wijst op een volledig horizontale grondwaterstroming en staat dus voor een snelheid van :

$$0,2 \text{ cm} * 10.000 = 20 \text{ m per jaar.}$$

Een pijltje van 0,2 cm lengte evenwijdig aan de Y-as duidt echter op een volledig verticale grondwaterstroming en staat voor een snelheid van :

$$0,2 * \frac{10.000}{30} = 0,7 \text{ m per jaar.}$$

De pijlen die noch aan de X-as, nog aan de Y-as evenwijdig zijn, zijn samengesteld uit een komponent langs de X-as en een komponent langs de Y-as.

6.4.4.2.2. Grondwaterstroming

In fase 1 (plaat 6.2.a) brengt de neerslaginfiltratie van 35 mm/jaar de stijghoogte in de Avekapellekreek op +3,8 in het centrale deel van de kreek. Het

stijghoogteverhang is het grootst aan de noordelijke rand van de kreek wegens de aanwezigheid van de Kromme Gracht.

De grondwaterstroming in het centrale deel van de Avekapellekreek is gering en volledig vertikaal tot op het ondoorlatend substraat, waar de stroming horizontaal verloopt. Meer naar de randen van de kreek toe wordt de stroming op geringe diepte reeds in horizontale richting afgebogen ; de grondwatersnelheden zijn er duidelijk groter.

De grootste stroomsnelheden worden vastgesteld nabij de Kromme Gracht. Dit is te wijten aan het grotere verhang nabij dit afwateringskanaal.

De afvloeï naar het noorden wordt volledig opgevangen door de Kromme Gracht ; een grondwaterstroming vanuit de kreek onder dit oppervlaktewater door naar de verder gelegen lage poelgebieden kan niet worden vastgesteld.

Ten zuiden van de Avekapellekreek vloeit het infiltrerende neerslagwater af naar het aangrenzende lage poelgebied. Deze afvloeï wordt vergemakkelijkt door de doorlatende lagen in het poelgebied. De grootste waterhoeveelheid treedt uit aan het contact tussen kreek- en poelgebied.

In de poelgebieden zelf is de grondwaterstroming te verwaarlozen.

In fase 2 (plaat 6.2.b) resulteert de neerslaginfiltratie van 35 mm/jaar, door het invoeren van het Zoutenaaieland en het verlagen van het grachtpeil en polderpeil, in een stijghoogte van +3,4 in het centrale deel van de Avekapellekreek. De stijghoogte is er bijgevolg ca. 0,4 m lager dan in fase 1.

Het grondwaterstromingspatroon en de -nelheden zijn nagenoeg volledig vergelijkbaar met deze in fase 1. Enkel ten zuiden van de kreek treedt een wijziging op als gevolg van het invoeren van het Zoutenaaieland. Het grondwater stroomt niet langer uit ter hoogte van het poelgebied, doch thans enkel in het Zoutenaaieland. Als gevolg van het steilere verhang zijn de grondwatersnelheden groter.

In het poelgebied ten zuiden van het Zoutenaaieland keert de grondwaterstroming om : niet langer zuidwaarts, van de kreek weg, doch naar het Zoutenaaieland toe. Deze grondwaterstroming geschiedt zeer traag wegens de geringe doorlatendheid van de sedimenten in het poelgebied.

In fase 3 (plaat 6.2.b) is de grondwaterstroming als gevolg van de geringere stijghoogte (opgelegd +2,4) duidelijk trager, wat op de doorsneden tot uiting komt door de overgang van de pijltjes naar puntjes. In het centrale deel van de kreek is de grondwaterstroming uitermate traag.

In de onmiddellijke omgeving van de Kromme Gracht zijn de grondwatersnelheden echter toegenomen, dit ten gevolge van het geïnduceerde grotere verhang nabij dit afwateringskanaal.

Plaatselijk zijn er lokale neerwaartse en opwaartse stromingen geïnduceerd.

In het poelgebied onmiddellijk ten zuiden van het Zoutenaaieland ontstaat ten gevolge van het lage grachtpeil een relatief belangrijke infiltratie van neerslagwater.

6.4.4.2.3. Grondwaterkwaliteit

De aanvangstoestand is deze waarbij het grondwaterreservoir volledig is gevuld met zout water (concentratie 0). Als gevolg van de infiltratie van zoet neerslagwater wordt het zoute water geleidelijk verdrongen en vormt zich in fase 1 aanvankelijk een symmetrische zoetwaterlens in de Avekapellekreek (plaat 6.2.a). Naarmate de verzoeting voortschrijdt wordt de symmetrische vorm verstoord. In het noorden van de kreek, nabij de Kromme Gracht, is de grondwaterstroming in de laag K3 te verwaarlozen, waardoor het konnate zeewater niet wordt uitgespoeld. De zoetwaterlens is er dan ook beperkt in dikte.

Ten zuiden van de Avekapellekreek wordt het konnate zeewater in het poelgebied nabij de kreek langzaam uitgespoeld door het uit de kreek afvloeiende zoete grondwater. Op het einde van fase 1 is de topzone van het poelgebied dan ook gekenmerkt door een relatief intense verzoeting. In de basiszone, waarin zeer weinig doorlatende sedimenten voorkomen, is de grondwaterstroming beperkt en blijft het konnate zeewater bewaard.

Het poelgebied ten noorden van de Avekapellekreek ondergaat geen zoete invloed. Het is tegen het uit de Avekapellekreek afvloeiende zoete water beschermd door de Kromme Gracht welke een natuurlijke hydrologische barrière vormt tussen de kreek en het poelgebied.

Reeds na 200 jaar is het zoute water in de Avekapellekreek teruggedrongen tot op de Ieperiaanklei ; de verdere verzoeting gebeurt langzamer ten gevolge van de relatief geringe grondwaterstroming nabij het tertiair substraat. Geleidelijk verdwijnen de lijnen met concentratie 5 en 16. In het centrale deel van de kreek blijft grondwater

met een concentratie gelijk aan 50 bewaard ; aan de randen van de kreek wordt ook deze waterkwaliteit uitgespoeld.

De belangrijkste wijziging in de grondwaterkwaliteitsverdeling in fase 2 (plaat 6.2.b) doet zich voor in het zuidelijk deel van de doorsnede. Door het invoeren van het Zoutenaaieland wordt de afvloeit van zoet water in deze zone versterkt waardoor de zoetwaterlens zich geleidelijk uitbreidt tot aan dit afwateringskanaal. In het poelgebied nabij het Zoutenaaieland kan een opwaartse stroming van het zoute water onder het afwateringskanaal worden vastgesteld ; vooral de lijnen met concentraties 99, 95 en 84 worden door het kanaal beïnvloed.

De opgetreden verzoeting in het poelgebied ten zuiden van het Zoutenaaieland blijft bewaard. De globale omvang van de zone beïnvloed door verzoeting wordt evenwel geringer als gevolg van de stroming van zout water vanuit het verder gelegen poelgebied naar het Zoutenaaieland, doch wegens de geringe doorlatendheid van het poelgebied is dit feit zelfs na 150 jaar nog bijna niet merkbaar.

In het overige deel van de doorsnede is de toestand nagenoeg volledig vergelijkbaar met deze in fase 1. De verdere verzoeting gebeurt uiterst langzaam, ondermeer in de weinig doorlatende laag K3 aan de noordelijke rand van de Avekapellekreek.

De verbeterde afwatering in fase 3 (plaat 6.2.b) beïnvloedt de kwaliteitsverdeling slechts in geringe mate. In het centrale deel van de kreek kan nog steeds een geringe verzoeting worden vastgesteld : de overgangszone tussen zoet en zout water wordt nauwer en de uitbreiding van de lijn met concentratie 50 wordt kleiner.

Aan de noordelijke rand van de kreek is de grondwaterstromingscyclus minder diep met als gevolg een opwaartse beweging van zout grondwater. In de onmiddellijke omgeving van de Kromme Gracht daarentegen wordt door de belangrijke neerwaartse stroming van zoet water het grensvlak tussen zoet en zout water naar beneden gedrukt.

Aan de zuidelijke rand van de kreek is er een lokale opwaartse stroming geïnduceerd. Deze stroming volgt uit het stijghoogteverhang gemeten op het terrein. Als gevolg van deze lokale stromingscyclus vertoont het grensvlak tussen zoet en zout water een opwaartse beweging.

In het poelgebied ten zuiden van de Avekapellekreek wordt de opwaartse stroming van zout water onder het Zoutenaaieland nog belangrijker ; ook de lijnen met concentratie 50, 16, 5 en 1 worden thans beïnvloed. De omvang van de

verzoetingszone wordt kleiner, als gevolg van de stroming van zout grondwater vanuit het poelgebied naar het Zoutenaaleed. Juist ten zuiden van het Zoutenaaleed treedt een infiltratie van zoet water op, welke een gedeeltelijke barrière vormt voor het toestromende zoute water.

6.4.4.3. Vergelijking met de op het terrein waargenomen kwaliteitsverdeling

De juistheid van de gestelde hypotesen en de uitgevoerde simulaties wordt nagegaan door vergelijking van de berekende kwaliteitsverdeling met deze waargenomen op het terrein. Deze laatste wordt afgeleid uit boorgatmetingen (plaat 5.2.).

De berekende kwaliteitsverdeling na fase 3 blijkt zeer goed overeen te stemmen met de op het terrein waargenomen toestand. Enkele kleine detailverschillen kunnen worden vastgesteld. Zo is de overgangszone tussen zoet en zout water in de berekeningen duidelijk smaller dan in werkelijkheid. Aanpassing van de parameters met het oog op het verkrijgen van een bredere overgangszone liet evenwel niet toe de huidige kwaliteitsverdeling even nauwkeurig te simuleren.

Ook is de lijn met concentratie 50 in de simulatie verdwenen aan beide randen van de Avekapellekreek. In werkelijkheid is dit enkel aan de zuidrand het geval.

Het zoute water in de laag K3 aan de noordrand van de kreek is een weinig te diep uitgespoeld en de laterale uitbreiding van de verzoeting in de poelgebieden ten zuiden van de kreek is waarschijnlijk iets te groot.

Gelet op de relatief ingewikkelde bouw van het kwartaire grondwaterreservoir mag een exakte simulatie van de werkelijkheid niet worden verwacht. De globale kwaliteitsverdeling stemt echter zeer goed overeen met deze waargenomen op het terrein zodat mag worden aangenomen dat het model is geijkt. Het kan dan ook worden aangewend voor de simulatie van de invloed van kunstmatige ingrepen op het hydrogeologische systeem.

6.5. Invloed van een algemene verlaging van het grondwaterpeil op de kwaliteitsverdeling

6.5.1. Algemeen

Sinds lang bestaat er onduidelijkheid over de invloed van een verlaging van het algemene polderpeil in de kustvlakte op de huidige kwaliteitsverdeling. In het bestek van deze studie werd getracht deze invloed te omschrijven.

Zolang bij een algemene verlaging van het grondwaterpeil de stijghoogte in de kreekgebieden hoger blijft dan deze in de poelgebieden levert dit nauwelijks een probleem voor de zoetwaterlens in de kreekgebieden. Immers, in deze toestand blijven de kreekruigen een infiltratiegebied en de poelgebieden een kwelgebied.

Een intense verbetering van het afwateringssysteem kan evenwel leiden tot een omkering van deze situatie. Immers, de afwateringskanalen vertonen in de poelgebieden slechts een klein invloedsareaal, dit wegens de geringe doorlatendheid van de ondergrond, waardoor de grondwaterstandsverlaging beperkt blijft. In de kreekgebieden daarentegen zal de verbeterde afwatering zorgen voor een intense verlaging van de stijghoogten. Een lagere stijghoogte in de kreken behoort dan ook tot de mogelijkheden, zeker wanneer men daarenboven rekening houdt met de talrijke drainagebuizen die in de akkers op de kreekruigen worden aangebracht en aldus de neerslaginfiltratie naar de watertafel verminderen.

Een situatie met lagere stijghoogten in de kreekgebieden doet zich thans reeds voor in droge zomers. In deze toestand zal de grondwaterstroming omkeren zodat zout water vanuit de poelgebieden naar de kreekgebieden toe stroomt, waardoor de zoetwaterlens in de kreken kan worden beïnvloed.

6.5.2. Randvoorwaarden en invoergegevens

De in paragraaf 6.4. beschreven simulatiedoorsnede stemt overeen met één welbepaalde toestand : de Avekapellekreek omringd door weinig doorlatende poelgebieden waarbij beide van elkaar gescheiden zijn door afwateringskanalen. Uit de simulatie van de vorming van de zoetwaterlens is gebleken dat deze kanalen een hydrogeologische barrière vormen tussen de kreek en de omliggende poelgebieden.

In het studiegebied kunnen evenwel nog andere hydrogeologische omstandigheden worden vastgesteld : de basiszone van de poelgebieden kan uit zandlagen zijn opgebouwd, waardoor deze voor een belangrijk gedeelte doorlatend worden, en de poel- en kreekgebieden zijn niet noodzakelijkerwijze van elkaar gescheiden door een afwateringskanaal.

Om de invloed van een eventuele algemene verlaging van het grondwaterpeil in de Avekapellekreek op de grondwaterkwaliteit te bestuderen dienen dan ook meerdere situaties te worden beschouwd. Dit zijn :

- een toestand met afwateringsgrachten aan de rand van de kreek en weinig doorlatende poelgebieden ;
- een toestand met afwateringsgrachten aan de rand van de kreek en poelgebieden die aan de basis doorlatend zijn ;
- een toestand zonder afwateringsgrachten en weinig doorlatende poelgebieden ;
- een toestand zonder afwateringsgrachten en poelgebieden die aan de basis doorlatend zijn.

Eerstgenoemde situatie stemt overeen met de in paragraaf 6.4. beschreven simulatie. De vorming van de zoetwaterlens in de overige situaties werd op eenzelfde wijze gesimuleerd. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het geijkte model, d.w.z. dat dezelfde invoerparameters worden aangewend. Slechts in het geval van poelgebieden met doorlatende basislaag werd de matrix van de horizontale doorlatendheden gewijzigd ; aan de zandige basislaag wordt een doorlatendheid van 5 m/d toegekend.

De rechter-, linker- en ondergrens van het model worden gedefinieerd zoals in het geijkte model. De randvoorwaarden van de bovengrens van het model worden aangepast al naargelang een toestand met of zonder afwateringskanalen wordt gesimuleerd.

Van de uiteindelijke kwaliteitsverdeling na 790 jaar wordt vervolgens gestart om de invloed van een algemene verlaging van het grondwaterpeil na te gaan.

Er wordt uitgegaan van een verlaging van het grondwaterpeil in de Avekapellekreek tot het peil +1,9. Deze stijghoogte wordt als vaste stijghoogtegrens ingegeven. De stijghoogte in de poelgebieden wordt op het huidige peil van +2,1

gehouden. Het waterpeil in de afwateringsgrachten wordt slechts een weinig onder het kreekpeil gelegd : +1,85.

Op de platen 6.3. tot 6.6. zijn de resultaten van de verschillende simulaties weergegeven. Telkens is de aanvangstoestand (toestand na fase 3) en de uiteindelijke kwaliteitsverdeling na 50 en 150 jaar gegeven.

6.5.3. Resultaten

6.5.3.1. Toestand met afwateringskanalen en weinig doorlatende poelgebieden (plaat 6.3.)

De aanvangstoestand na fase 3 is reeds besproken in paragraaf 6.4. .

Na verlaging van het grondwaterpeil in de Avekapellekreek tot +1,9 (plaat 6.3.) is de grondwaterstroming zowel in de poelgebieden als in de kreek zeer traag. Door het feit dat thans in de poelgebieden de hoogste stijghoogten heersen worden deze een infiltratiegebied. De infiltratie is het grootst nabij de afwateringskanalen. De infiltratie in de kreek is nagenoeg te verwaarlozen.

In de Avekapellekreek ondergaat de kwaliteitsverdeling slechts geringe wijzigingen. In het centrale deel van de kreek kan een zeer geringe stijging van het grensvlak tussen zoet en zout grondwater worden vastgesteld. Deze stijging is echter zelfs na 200 jaar nagenoeg niet merkbaar.

Aan de randen van de kreek is de stijging van het grensvlak relatief belangrijker, doch eveneens zeer traag. Tevens kan aan de basis van de kreekranden een geringe toestroming van zout water worden vastgesteld. Immers, de stijghoogte aan de basis van de poelgebieden is ca. 0,5 m hoger dan deze aan de basis van de kreeksedimenten.

Gelet op de geringe omvang van de wijzigingen in de kreek en de tijdsduur die er voor nodig is mag evenwel worden gesteld dat de invloed van de grondwaterstandsverlaging op de kwaliteitsverdeling in de kreek te verwaarlozen is.

In de poelgebieden treden eveneens veranderingen op. Ze zijn thans gekenmerkt door een infiltratie van zoet water waardoor zich een zoetwaterlens vormt. Deze blijft echter beperkt in omvang wegens de geringe doorlatendheid van de

ondergrond enerzijds en de weinig diepe stromingscyclus nabij de afwateringskanalen anderzijds.

6.5.3.2. Toestand met afwateringskanalen en doorlatende poelgebieden (plaat 6.4.)

In fase 1 zorgt de infiltratiesnelheid in deze toestand voor een stijghoogte van +3,7 in het centrum van de Avekapellekreek. Deze stijghoogte is een weinig lager dan in de voorgaande situatie, daar de afvloeï vanuit de kreek naar de poelgebieden is vergemakkelijkt door de grotere doorlatendheid in deze laatsten.

Het globale grondwaterstromingspatroon is vergelijkbaar met dit in de hoger beschreven situatie. Enkele verschillen treden op. De ondoorlatende afzettingen onder de zandige kreek sedimenten aan de rand van de Avekapellekreek zijn vervangen door doorlatende lagen, waardoor de grondwaterstroming dieper reikt en de stroomsnelheden groter zijn.

Aan de basis van de poelgebieden treedt ten zuiden van de kreek een belangrijke afvloeï van zoet water vanuit de kreek op. Ten noorden van de kreek reikt deze stroming slechts tot aan de Kromme Gracht ; een grondwaterstroming onder dit afwateringskanaal door kan niet worden vastgesteld. Vanuit het poelgebied ten noorden van de Avekapellekreek is er een belangrijke grondwaterstroming naar de Kromme Gracht toe. Een dergelijke stroming doet zich aanvankelijk niet voor ten zuiden van de kreek, doch wordt vervolgens geïnduceerd door het invoeren van het Zoutenaaleed.

Na fase 3 (plaat 6.4.) geschiedt de grondwaterstroming het snelst in de basiszone van de poelgebieden. In het centrale deel van de kreek is de grondwaterstroming traag ; aan de randen van de kreek treden hogere stromingssnelheden op.

In de Avekapellekreek is de kwaliteitsverdeling vergelijkbaar met deze in de vorige situatie. Aan de randen van de kreek reikt het zoete water wel dieper ; ook de lijn van concentratie 84 is thans aan de kreek randen verdwenen. De meer uitgesproken verzoeting is een rechtstreeks gevolg van de intensere grondwaterstroming in deze zones.

In het poelgebied ten zuiden van de kreek breidt de verzoeting zich vooral uit via de doorlatende basiszone van het poelgebied. Wegens deze grotere doorlatendheid is ook de zone welke door de verzoeting wordt beïnvloed belangrijker in omvang. Ten noorden van de Avekapellekreek wordt de verzoeting van het poelgebied verhinderd door de aanwezigheid van de Kromme Gracht.

Na het invoeren van het Zoutenaai-eleed heerst er zowel ten noorden als ten zuiden van de kreek een stroming van zout grondwater vanuit de poelgebieden naar de afwateringskanalen. Onder het Zoutenaai-eleed kan een opwaartse stroming van zout water worden vastgesteld, waarbij alle lijnen (koncentratie 99 tot 1) worden beïnvloed.

Na een verlaging van het grondwaterpeil in de Avekapellekreek tot +1,9 (plaat 6.4.) is de grondwaterstroming in de kreek zeer traag. De grootste stroomsnelheden treden op in de doorlatende basiszone van de poelgebieden. De stroming is er naar de kreek toe gericht ; het toestromende grondwater wordt thans niet meer volledig opgevangen door de afwateringskanalen doch vloeit voor een gedeelte naar de Avekapellekreek.

Het toestromende zoute water zorgt aan de randen van de kreek dan ook voor een stijging van het grensvlak tussen zoet en zout water en het opnieuw verschijnen van de lijnen met concentratie 84 en 50. De zoetwaterlens in de kreek neemt bijgevolg af in omvang, doch de veranderingen blijven relatief beperkt daar het grootste deel van het toestromende zoute water via de afwateringskanalen afvloeit.

De invloed van de algemene grondwaterstandsverlaging op de kwaliteitsverdeling laat zich opnieuw zeer traag gevoelen. Na 50 jaar zijn de wijzigingen haast nog niet merkbaar. Pas na 150 jaar zijn de veranderingen belangrijk.

6.5.3.3. Toestand zonder afwateringskanalen en weinig doorlatende poelgebieden (plaat 6.5.)

In deze situatie bedraagt de stijghoogte +4,0 bij een neerslaginfiltratie van 35 mm/jaar. De hogere stijghoogte in vergelijking met de voorgaande simulaties is het gevolg van het ontbreken van de Kromme Gracht, waardoor de ondergrondse afvloeit vanuit de kreek wordt verminderd.

Het grondwaterstromingspatroon is vergelijkbaar met dit van de eerste simulatie. In plaats van een uitstroming van grondwater in de afwateringskanalen kan thans een gelijkaardige uitvloeit in de omliggende poelgebieden worden vastgesteld. Een dergelijke uitvloeit trad reeds op ten zuiden van de kreek, zodat enkel ten noorden van de kreek de toestand is gewijzigd.

Ook de kwaliteitsverdeling stemt nagenoeg volledig overeen met deze in de eerste simulatie.

Na verlaging van het grondwaterpeil in de Avekapellekreek tot +1,9 (plaat 6.5.) is de grondwaterstroming zowel in de poelgebieden als in de kreek zeer traag. Door het feit dat thans in de poelgebieden de stijghoogten het hoogst zijn infiltreert er zoet water en vormt er zich een zoetwaterlens. Deze blijft, als gevolg van de geringe doorlatendheid van de poelgebieden, relatief beperkt in omvang.

Door het naar de kreek toestromende zoute water wordt de zoetwaterlens smaller en kan aan de randen van de kreek een stijging van het grensvlak tussen zoet en zout water worden vastgesteld. De hoeveelheid zout water die toestroomt is evenwel beperkt door de geringe doorlatendheid van de sedimenten in de poelgebieden.

De veranderingen gebeuren dan ook zeer traag en zijn pas na 150 jaar min of meer belangrijk.

6.5.3.4. Toestand zonder afwateringskanalen en doorlatende poelgebieden (plaat 6.6)

Het grondwaterstromingspatroon en de kwaliteitsverdeling stemmen overeen met dat van de tweede simulatie. Door de afwezigheid van de afwaterings-kanalen zijn de stroomsnelheden minder groot en is er nagenoeg geen grondwater-stroming in de poelgebieden.

Na de verlaging van het grondwaterpeil in de kreek tot het peil +1,9 (plaat 6.6.) treden belangrijke veranderingen op in de kwaliteitsverdeling. Daar de stijghoogten heersen in de poelgebieden het hoogst zijn, is de grondwaterstroming gericht van de poelgebieden naar de Avekapellekreek. Omdat het zout water betreft neemt de zoetwaterlens in de kreek geleidelijk en in belangrijke mate af in omvang. Immers, door de grote doorlatendheid van de basis van de poelgebieden is de toestromende hoeveelheid zout grondwater groot.

De poelgebieden nabij de kreek zijn gekenmerkt door een vrij intense infiltratie van zoet neerslagwater waardoor zich een omvangrijke zoetwaterlens vormt.

Ook in deze situatie is een vrij lange periode vereist alvorens de veranderingen uitgesproken zijn. De snelheid waarmee de veranderingen optreden is echter duidelijk groter dan in de vorige situaties.

6.5.3.5. Besluit

Uit de simulaties blijkt dat een algemene verlaging van het polderpeil in de kustvlakte in de meeste situaties weinig invloed heeft op de grondwaterkwaliteitsverdeling. Slechts in de meer zeewaarts gelegen gebieden, waar de poelgebieden voor een belangrijk deel zijn opgebouwd uit doorlatende sedimenten, zal de kwaliteitsverdeling belangrijke wijzigingen ondergaan in een relatief korte tijdsperiode.

6.6. Verwijdering van het zoute basiswater in de kreekgebieden door pumping en infiltratie

6.6.1. Algemeen

Door de aanwezigheid van zout water en de weinig omvangrijke zoetwatervoorraden zijn de mogelijkheden tot grondwaterwinning in het kustgebied beperkt, waardoor vaak een watertekort optreedt. Dit is zeker het geval in het toeristische hoogseizoen, wanneer het waterverbruik uitermate hoog ligt. Om aan dit watertekort te verhelpen wordt in de duingebieden plaatselijk grondwater gewonnen. Vaak gebeurt dit weinig oordeelkundig, waardoor reeds na korte tijd de zoetwatervoorraden drastisch afnemen en toestromend zout water de kwaliteit van de winningsputten beïnvloedt.

Ondanks negatieve rapporten worden deze winningen in de duinen nog uitgebreid, waarbij natuurgebieden niet worden ontzien. Een waterwinning in de achterliggende polders wordt niet overwogen. Een dergelijke waterwinning is inderdaad niet mogelijk zonder bijkomende maatregelen. Zelfs in de kreekgebieden, welke gekenmerkt zijn door een relatief belangrijke zoetwatervoorraad, zorgt het oppompen van zoet grondwater reeds snel voor een stijging van het grensvlak tussen zoet en zout water. Ten gevolge hiervan is de enige waarde die aan deze kreekgebieden wordt gehecht het feit dat ze kunnen worden aangewend als zandwinning. Dit is op vele plaatsen al het geval, ondermeer te Nieuwkapelle. Het landschap wordt er drastisch door verstoord en de enige goede landbouwgrond in het gebied wordt verwijderd.

Door het nemen van de gepaste maatregelen is het evenwel mogelijk in relatief korte tijd het zoute basiswater in de kreekgebieden te verwijderen, om daarna

kontinu zoet water te winnen. Een dergelijke winning is uiteraard beperkt in omvang, doch de opgepompte debieten kunnen dezelfde grootte-orde bereiken als deze in de duinwinningen. Zoals blijkt uit de voorgaande simulaties is het gevaar voor verzilting van een dergelijke winning klein wegens de geringe doorlatendheid van de poelgebieden. Mits de nodige aandacht voor de inplanting van de winningen in het landschap kunnen ze dan ook bijdragen tot het overbruggen van de periodes met groot waterverbruik in de zomer.

Hierbij moeten de overheid en de waterwinningsmaatschappijen inzien dat elke verantwoorde waterwinning, ook deze met kleine omvang, van belang kan zijn.

In deze paragraaf wordt aangetoond hoe de winning van grondwater in de kreekgebieden mogelijk is. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de kreekgebieden omringd zijn door weinig doorlatende poelgebieden en door afwateringskanalen. De situatie waarin de poelgebieden een doorlatende basislaag vertonen wordt in een volgende paragraaf besproken.

6.6.2. Winning van zoet grondwater in een kreekgebied, zonder bijkomende maatregelen (plaat 6.7.)

6.6.2.1. Randvoorwaarden en invoergegevens

Met behulp van het geijkte matematische model wordt aangetoond dat een winning van zoet water in de kreekruigen, zonder bijkomende maatregelen niet mogelijk is. Hierbij wordt uitgegaan van de in paragraaf 6.4. beschreven simulatie (toestand met afwateringskanalen en weinig doorlatende poelgebieden), waarbij de aanvangstoestand deze is na fase 3 (huidige toestand). Voor de kolommen die deel uitmaken van de Avekapellekreek wordt de bovengrens evenwel niet langer gedefinieerd door een vaste stijghoogte gelijk aan de huidige, doch opnieuw door een neerslaginfiltratie van 35 mm/jaar.

De ingevoerde parameters zijn volledig deze aangewend bij de ijking van het model (par. 6.4.).

Gedurende de eerste 10 jaar wordt grondwater opgepompt in 5 winningsputten op ca. 5 m diepte en dit met een debiet dat gelijk is aan 95% van de nuttige neerslaghoeveelheid. Een dergelijk debiet stemt overeen met 0,17 m³/d per meter breedte van de doorsnede. In deze situatie is het opgepompte debiet bijgevolg kleiner dan de voeding door neerslagwater.

Gedurende de volgende 40 jaar wordt gepompt met een debiet dat de voeding door neerslag met 20 % overschrijdt ; het debiet bedraagt 0,2 m³/d per meter breedte van de doorsnede.

In beide gevallen wordt de stijghoogte in de poelgebieden konstant gehouden op het peil +2,1. Er wordt bijgevolg verondersteld dat de poelgebieden niet door de waterwinning in de kreek worden beïnvloed of, met andere woorden, dat het polderpeil door een verhoogde infiltratie kunstmatig op hetzelfde peil wordt gehouden. Het konstante polderpeil wordt ingevoerd als een vaste stijghoogtegrens met concentratie 100.

6.6.2.2. Resultaten

De resultaten van de simulaties zijn voorgesteld op plaat 6.7. . Op de doorsneden zijn de pompputten voorgesteld. De tijdsfaktor, welke de stroomsnelheid in een cel bepaalt, bedraagt nog steeds 1 jaar of 365,25 dagen. Een pijltje van 0,2 cm lengte evenwijdig aan de X-as duidt op een volledig horizontale stroming met een snelheid van 20 m per jaar. Een pijltje van 0,2 m lengte evenwijdig aan de Y-as duidt op een volledig verticale stroming met een snelheid van 0,7 m per jaar (par. 6.4.4.2.1.).

Uit de simulaties blijkt dat een pumping met een debiet dat de voeding niet overschrijdt weinig tot geen invloed heeft op de grondwaterkwaliteitsverdeling. Slechts onmiddellijk onder de pompputten kan een kleine stijging van het grensvlak tussen zoet en zout water worden vastgesteld ; deze is beperkt en vormt geen gevaar voor de pompputten.

Na het verhogen van het pompdebiet wordt de beweging van het grensvlak geaccentueerd ; na 40 jaar bereikt het zoute water de pompputten aan de randen van de kreek. Een pumping met een debiet groter dan de voeding door neerslag heeft onherroepelijk het verdwijnen van de zoetwatervoorraad in de kreek tot gevolg.

Hierbij dient aangestipt dat het in de simulatie aangewende pompdebiet gering is. Voor de Avekapellekreek, welke loodrecht op het vlak van de doorsnede een breedte vertoont van ca. 3000 m stemt het opgepompte debiet van 0,2 m³/d per meter breedte van de doorsnede overeen met een totaal debiet van ca. 220.000 m³/jaar. Een verhoging van het pompdebiet tot dit van een normale kleine

waterwinning (ca. 1.000.000 m³/jaar) zal het verzilten van de pompputten aanzienlijk versnellen.

6.6.3. Winning van zoet grondwater in een kreekgebied, na verwijdering van het zoute water aan de basis van de kreeksedimenten.

6.6.3.1. Algemeen

De maximale hoeveelheid zoet water welke uit de kreekgebieden kan worden gewonnen kan voor een deel worden verhoogd door de kunstmatige infiltratie van zoet oppervlaktewater in de krekken. Een dergelijke maatregel is echter niet voldoende. Zelfs met bijkomende infiltratie zal bij een economisch verantwoord debiet een stijging van het grensvlak tussen zoet en zout grondwater niet kunnen worden vermeden.

Bijkomende maatregelen dienen dan ook te worden genomen. Deze omvatten het verwijderen van de zoute basislaag in de kreekgebieden en het beletten van een toestroming van zout water vanuit de omgeving naar de krekken toe. Het verwijderen van het zoute grondwater door pumping en kunstmatige infiltratie van zoet water werd reeds voorgesteld door LEBBE (1984, 1986) bij zijn onderzoek in de Belgische Moeren.

Wanneer het zoute basiswater wordt opgepompt en de toestroming ervan wordt belet zal het zoute basiswater kunnen worden verwijderd. Het wordt immers vervangen door infiltrerend zoet neerslagwater. De uitspoeling van het zoute basiswater door natuurlijke infiltratie is echter een te langzaam proces en bijgevolg economisch niet haalbaar. Door kunstmatige infiltratie van zoet oppervlaktewater uit infiltratiekanalen of -bekkens kan dit proces echter aanzienlijk worden versneld.

6.6.3.2. Randvoorwaarden en invoergegevens

In de simulatie, welke dit vervangingsproces aantoont, wordt uitgegaan van het geijkte model besproken in paragraaf 6.4. waarbij het kreekgebied is begrensd door afwateringskanalen. Deze kanalen vormen een nagenoeg volledige hydrologische barrière tussen het kreekgebied en de omliggende poelgebieden. Het uit de poelgebieden toestromende zoute water bij pumping in het kreekgebied zal voor een

belangrijk deel door deze kanalen worden opgevangen, op voorwaarde dat het peil van de oppervlaktewaters voldoende laag is.

De stijghoogte in de poelgebieden wordt opnieuw konstant gehouden op het peil +2,1. Het peil wordt in het model ingegeven als een vaste stijghoogtegrens met concentratie 100.

In de kreek wordt zoet water kunstmatig geïnfiltreerd met behulp van drie infiltratiekanalen. Deze worden in het model ingegeven als een vaste stijghoogtegrens met concentratie 100. Als vaste stijghoogte werd het peil +2,8 gekozen, d.w.z. ca. 0,4 m hoger dan het huidige grondwaterpeil in de Avekapellekreek. Het water nodig voor de infiltratie is in het studiegebied zeker aanwezig. Immers, het grootste deel van het neerslagwater wordt thans uit het gebied verwijderd. Dit oppervlaktewater is bijgevolg beschikbaar voor kunstmatige infiltratie.

In het model zijn de infiltratiekanalen ingegeven in de kolommen 21, 30 en 39. De overige kolommen van de kreek (11 tot 41) zijn gekenmerkt door een natuurlijke neerslaginfiltratie van 35 mm/jaar.

Het zoute basiswater wordt op 4 plaatsen weggepompt, de pomputten zijn juist boven het ondoorlatend tertiair substraat gesitueerd. Aan de randen van de kreek is telkens een pompput voorzien als barrière tegen het zoute water dat eventueel vanuit het poelgebied onder de afwateringskanalen doorstroomd. Het debiet van deze putten is gering. Het grootste debiet wordt verpompt door twee pompputten welke centraal tussen de infiltratiekanalen zijn geplaatst. De pomputten bevinden zich aldus ter hoogte van de kolommen 18, 25, 35 en 42 ; het totaal verpompte debiet aan de basis van de kreek bedraagt 1,35 m³/d per meter breedte van de doorsnede of ca. 1.480.000 m³/jaar over de gehele breedte van de Avekapellekreek.

Teneinde de periode welke nodig is om het zoute basiswater te verwijderen te overbruggen wordt in de topzone van de kreeksedimenten zoet grondwater gewonnen met een relatief beperkt debiet. De winning geschiedt op 6 plaatsen en dit met een totaal debiet van 0,65 m³/d per meter breedte van de doorsnede of ca. 700.000 m³/jaar over de breedte van de Avekapellekreek. Op deze wijze kan reeds zoet water worden opgepompt alvorens de eigenlijke waterwinning wordt gestart.

De opgepompte debieten zijn zo gekozen dat tussen de infiltratiekanalen het grondwaterpeil niet wordt verlaagd onder het peil +2,0.

De invoergegevens zijn identiek aan deze van de vorige simulaties.

6.6.3.3. Resultaten

De resultaten van de computersimulatie zijn voorgesteld op plaat 6.8. De toestand na 1,25, 2,5, 5, 10, 15 en 20 jaar is telkens door middel van een doorsnede weergegeven ; op de doorsneden zijn de pompputten en de infiltratiekanalen aangeduid.

De grondwatersnelheidsvectoren zijn gekenmerkt door een tijdsfaktor van 6 maanden of 182,63 dagen. Met deze tijdsfaktor stemt een snelheidsvektor van 0,2 cm lengte evenwijdig aan de X-as overeen met een stroomsnelheid van 40 m per jaar. Een snelheidsvektor met dezelfde grootte evenwijdig aan de Y-as duidt op een stroomsnelheid van 1,4 m per jaar.

Uit de simulatie blijkt dat reeds na 10 jaar het grootste deel van het zoute basiswater is verdwenen ; na 20 jaar pompen is er geen zout water meer in de kreek aanwezig. Door de afwateringskanalen en de pompputten aan de rand van de kreek wordt het toestromende zoute water vanuit de omliggende poelgebieden volledig opgevangen. Eenmaal het zoute water uit de kreek verwijderd is dit dan ook definitief.

Aanvankelijk is de winning van zoet grondwater beperkt tot de pomputten in de topzone van de kreesedimenten, en dus tot een debiet van 0,65 m³/d per meter breedte van de doorsnede. Na 20 jaar dient enkel nog het debiet dat aan de randen van de kreek wordt opgepompt te worden afgevoerd ; het overige debiet bestaat volledig uit zoet grondwater en bedraagt 1,70 m³/d per meter breedte van de doorsnede. Na 20 jaar kan bijgevolg een totaal debiet van ca. 1.860.000 m³/jaar voor de breedte van de Avekapellekreek worden gewonnen. Dit debiet heeft enkel betrekking op het deel van de Avekapellekreek tussen Avekapelle en Pervijze. Wordt ook het deel van de kreek ten zuiden van Avekapelle beschouwd dan kan het winningsdebiet nog aanzienlijk toenemen.

De simulatie toont dan ook aan dat een waterwinning in de kreekruigen in het kustgebied niet zomaar mag worden verworpen.

6.7. Kunstmatige vorming van een zoetwatervoorraad in de poelgronden

6.7.1. Algemeen

Uit hoofdstuk 2 is gebleken dat de poelgebieden in de landwaarts gelegen delen van de westelijke kustvlakte nagenoeg uitsluitend zijn opgebouwd uit fijnkorrelige, en dus weinig doorlatende, sedimenten. Een eventuele waterwinning is bijgevolg slechts mogelijk in de zandige kreekruggen. Nabij de kust is de basis van de poelgebieden evenwel vaak samengesteld uit zandige en dus doorlatende lagen. In deze streken is het mogelijk een waterwinning in de kreekruggen volgens het hierboven beschreven principe uit te breiden tot de aangrenzende poelgebieden.

Dit feit werd met behulp van het mathematisch model gesimuleerd.

6.7.2. Opbouw van de simulatiedoorsnede, randvoorwaarden en invoergegevens

Voor de simulatie werd de opbouw van het model gewijzigd. De nieuwe simulatiedoorsnede is opgebouwd uit 40 kolommen met een breedte van 60 m en 26 lagen met een dikte van 1 m. De kolommen 2 tot 24 vormen het poelgebied ; de overige kolommen (25 tot 39) maken deel uit van een kreekgebied. De lagen vertegenwoordigen het grondwaterreservoir vanaf de watertafel tot aan het ondoorlatende substraat.

In het poelgebied zijn de bovenste 5 rijen als weinig doorlatend beschouwd ; de overige lagen zijn samengesteld uit zand. Aan de weinig doorlatende afzettingen is een horizontale doorlatendheid van 1,0 m/d toegekend ; de horizontale doorlatendheid van de zandige lagen aan de basis van het poelgebied en deze van de kreeksedimenten is identiek en gelijk aan 5 m/d. De anisotropie is gelijk gesteld aan 0,05. De overige parameters stemmen overeen met deze van de voorgaande simulaties.

De rechtergrens van het model valt samen met het centrale, hoogste deel van het kreekgebied. Het betreft een ondoorlatende grens, en dus een grondwaterscheidingskam.

Ook de linkergrens van het model is gedefinieerd als een ondoorlatende grens. Via deze randen treedt dus geen water in noch uit het model.

De ondergrens van het model wordt gevormd door het ondoorlatende tertiaire substraat en is bijgevolg eveneens gedefinieerd als een ondoorlatende grens. De bovengrens van het model wordt gekarakteriseerd door twee soorten van randvoorwaarden : de vaste stijghoogtegrens en de infiltratiegrens.

In het kreekgebied heerst infiltratie van zoet water ; de kolommen overeenstemmend met de kreek zijn bijgevolg gekenmerkt door een infiltratiegrens. De waarde van de infiltratie bedraagt, net zoals in de voorgaande simulaties, 35 mm/jaar.

Het poelgebied is gekenmerkt door een vast polderpeil dat wordt ingegeven als een vaste stijghoogtegrens met concentratie 100.

De kreek en het poelgebied zijn gescheiden door een afwateringskanaal. Dit kanaal is gekenmerkt door een vaste stijghoogtegrens met concentratie 100.

6.7.3. Evolutie van de grondwaterkwaliteit na de definitieve terugtrekking van de zee

Uitgaande van een aanvangstoestand, waarin het grondwaterreservoir volledig is verzadigd met zout water met concentratie 0, wordt de vorming van de zoetwaterlens in de kreek en het poelgebied gesimuleerd, en dit voor een periode van 790 jaar.

Zoals bij de voorgaande simulaties worden bij de verzoeting drie fasen onderscheiden, waarbij het polderpeil respectievelijk +2,8, +2,4 en +2,1 bedraagt. Het peil van de afwateringsgracht wordt in de verschillende perioden gehouden op +2,6, +2,2 en +1,9.

De resultaten van de simulatie zijn voorgesteld op plaat 6.10. . De tijdsfaktor, welke de stroomsnelheden karakteriseert, bedraagt 1 jaar of 365,25 dagen.

Zoals in de voorgaande simulaties vormt zich in de kreek een uitgebreide zoetwaterlens. Naast de kreekrug is ook het poelgebied gekenmerkt door het voorkomen van zoet water. De zoetwaterlens is er echter beperkt in omvang ; de diepte tot waar de verzoeting in deze gronden reikt is in overeenstemming met de waarnemingen op het terrein.

6.7.4. Verwijdering van het zoute grondwater in kreek- en poelgebied

6.7.4.1. Algemeen

Uitgaande van de situatie bekomen na 790 jaar wordt met behulp van het mathematisch model aangetoond op welke wijze een winning in de krekken kan worden uitgebreid tot het omliggende poelgebied.

6.7.4.2. Randvoorwaarden en invoergegevens

In de kreek wordt de infiltratie van zoet water kunstmatig verhoogd door middel van infiltratiekanalen. Deze worden ingegeven als een vaste stijghoogtegrens met concentratie 0. De infiltratiekanalen bevinden zich in de kolommen 30 en 39 ; de vaste stijghoogte bedraagt +2,8.

Het poelgebied vertoont een vast polderpeil, dat zelfs na pumping in de basiszone ervan wordt gehandhaafd. Er wordt bijgevolg verondersteld dat dit polderpeil door kunstmatige infiltratie van zoet oppervlaktewater wordt in stand gehouden. Het polderpeil wordt ingegeven als een vaste stijghoogtegrens met concentratie 100 en bedraagt +2,1.

In kolom 5 is een infiltratiekanaal voorzien. Dit kanaal bakent het beschouwde deel van het poelgebied af van de verder gelegen gebieden. Door de infiltratie vanuit dit kanaal wordt tevens de toestroming van zout grondwater uit de omgeving voor een belangrijk deel belet. Het peil van het infiltratiekanaal bedraagt +3,0.

Het afwateringskanaal tussen kreek- en poelgebied wordt in deze simulatie buiten beschouwing gelaten.

In de kreek wordt, juist boven het tertiair substraat, op twee plaatsen in de basiszone gepompt teneinde het zoute grondwater uit de basislaag van de kreek te verwijderen. Het pompen geschiedt in de kolommen 27 en 34. Het opgepompte debiet bedraagt 1,35 m³/d per meter breedte van de doorsnede.

In het poelgebied wordt eveneens in de doorlatende basislaag het zoute water weggepompt. Dit gebeurt juist boven het tertiair substraat met behulp van 4

pomputten in de kolommen 7, 12, 16 en 21 en met een totaal debiet van 2,2 m³/d per meter breedte van de doorsnede.

6.7.4.3. Resultaten

De resultaten van de simulatie zijn voorgesteld op plaat 6.10. Op de doorsneden zijn de pompputten en infiltratiekanalen voorgesteld. De grondwatersnelheidsvektoren zijn gekenmerkt door een tijdsfaktor van 6 maanden of 182,63 dagen.

De simulatie toont aan dat ook in het poelgebied door kunstmatige infiltratie van zoet oppervlaktewater en het wegpompen van zout grondwater boven het tertiair substraat zich een belangrijke zoetwatervoorraad kan vormen. Enige voorwaarde hierbij is dat de ondergrond van het poelgebied voldoende doorlatend is.

Reeds na 20 jaar kan de waterwinning in de kreek worden uitgebreid naar het poelgebied. In vergelijking met de kreekgebieden dient echter gedurende een langere periode zout grondwater te worden verpompt.

7. ALGEMEEN BESLUIT

De interpretatie van bestaande en in het bestek van deze studie verzamelde litologische gegevens geeft een inzicht in de opbouw van de kwartaire sedimenten in de IJzervlakte. Gelet op de sterk verschillende litologische samenstelling dient hierbij een onderscheid gemaakt te worden tussen de kreekgebieden enerzijds en de poelgebieden anderzijds. De poelgebieden vormen het grootste deel van de IJzervlakte en zijn nagenoeg uitsluitend samengesteld uit fijnkorrelige, weinig doorlatende sedimenten (klei, leem, veen), daterend van het Pleistoceen tot het Subatlanticum. Eerstgenoemde afzettingen zijn in hoofdzaak zandig en zijn aanwezig als opvulling van smalle geulen welke de poelgebieden volgens een grillig patroon doorsnijden.

De geologische opbouw van de IJzervlakte is bovendien sterk wisselend van plaats tot plaats, afhankelijk van de afzettingssomstandigheden en wijzigingen in de intensiteit van de direkte mariene invloed.

In de gehele IJzervlakte wordt het tertiair substraat gevormd door de Ieperiaanklei (Lid van Vlaanderen), welke in de diepste delen van de vallei voorkomt op ca. 25 m diepte, doch naar de randen van de vallei opklimt tot slechts 1 à 2 m beneden maaiveld.

De basis van de kwartaire sequentie wordt tussen Avekapelle en Noordschote vaak gevormd door een basisgrint van silexkeien of door sterk heterogeen grinthoudend zand (laag K1) ; dit grintniveau is afwezig tussen de Frans-Belgische grens en Pollinkhove.

Nagenoeg over het gehele studiegebied worden sedimenten van het Pleistoceen (laag K2) aangetroffen ; ze dateren waarschijnlijk van het Holstein-interglaciaal. Het betreft blauwe tot grijsblauwe klei (facies K2,1), lichtgroene zandhoudende kleileem tot lichtgrijsgroen kleihoudend fijn zand (facies K2,2) en donkergrijsgroen glauconiethoudend fijn tot middelmatig zand (facies K2,3).

In de omgeving van Avekapelle en Nieuwkapelle en ten zuiden van Lo is de laag vooral samengesteld uit het facies K2,2 ; ze bereikt er een dikte van 2 tot 10 m. In de omgeving van Noordschote en zeker stroomopwaarts van Pollinkhove is vooral het facies K2,1 vertegenwoordigd ; de dikte van de laag kan er oplopen tot 13 m.

Plaatselijk zijn diep in het tertiair uitgeschuurde geulen opgevuld met een grijze zware zandleem tot lichte klei (laag K3), welke al of niet rust op de laag K2. De chronostratigrafische positie van deze afzetting is onduidelijk.

Nagenoeg in de gehele IJzervlakte kan aan de basis van de holocene sequentie een dunne veenlaag (laag K4) daterend van het Vroeg-Atlanticum (7.000 ± 80 j B.P.) worden aangetroffen. Het veen vormt echter geen aaneengesloten laag en ontbreekt regelmatig. Te Noordschote in diep in het Pleistoceen uitgeschuurde geulen, en stroomopwaarts van Pollinkhove kan de laag een dikte van 5 m bereiken.

De oudste mariene afzettingen van het Atlanticum (laag K5) zijn nabij de kreekgebieden samengesteld uit grijs fijn tot middelmatig zand ; op grotere afstand gaat het facies over in grijze slappe klei of leem. Ze worden enkel aangetroffen in de meest zeewaarts gelegen gebieden (tot aan Lampernisse), waar de dikte gemiddeld 7 m bedraagt. De meer landwaarts gelegen regio's van de IJzervlakte lagen in deze periode buiten de sedimentatiezone.

De jongste afzettingen van het Atlanticum (laag K6) zijn opgebouwd uit blauwgrijze plastische klei tot blauwgrijs kleihoudend fijn zand, met een dikte variërend tussen 0 en 7 m. Ze worden aangetroffen tot in Noordschote, wat wijst op een grotere mariene invloed in deze periode. De meer stroomopwaarts gelegen gebieden bleven nog steeds buiten de sedimentatiezone.

De veenlaag van het Subboreaal (laag K7) is continu over het gehele gebied, waarbij de dikte toeneemt in landwaartse richting. Stroomopwaarts van Pollinkhove en plaatselijk te Noordschote vormt de laag samen met het basisveen één groot complex van organische lagen.

De vroegere getijdegeulen die de IJzervlakte volgens een grillig patroon doorsnijden zijn opgevuld met zand, waarvan de dikte en samenstelling sterk wisselen met de positie tot de zee. Ze vormen thans de kreekgebieden.

In de Avekapellekreek zijn de afzettingen gekenmerkt door een verticale opeenvolging van grove en fijne zandfacies (5 in totaal) met als grintelementen in hoofdzaak schelpen. De dikte van de kreeksedimenten kan 25 m bereiken.

Stroomopwaarts van Lampernisse, in de IJzerkreek, wordt meestal slechts het bovenste facies bestaande uit fijn zand waargenomen. Het zand is bovendien gekenmerkt door een zeer belangrijk gehalte aan organisch materiaal. De dikte van

de afzetting neemt af met toenemende afstand tot de zee om stroomopwaarts van Pollinkhove nog slechts 6 m te bereiken.

De gelijkaardige litologische structuur in de Avekapellekreek en in het zandfacies van de laag K5 laat vermoeden dat zeker de Avekapellekreek dateert van het Atlanticum. Het ontbreken van de laag K5 in stroomopwaartse richting vanaf Lampernisse enerzijds en het hoge veengehalte in de IJzercreek anderzijds wijzen op een jongere ouderdom voor deze kreek, waarschijnlijk Subboreaals en Subatlanticum.

Aan de kreekranden zijn de zandige kreeksedimenten vaak bedekt door een grijze zandleem tot klei (laag K9) daterend van het Subatlanticum.

De top van de kwartaire sequentie wordt overal gevormd door een 1 tot 2 m dikke roestbruine zeer stijve klei, eveneens van het Subatlanticum.

Met behulp van twee pompproeven, respectievelijk een dubbele pompproef in de Avekapellekreek en een enkelvoudige pompproef in de IJzercreek, werden de hydraulische parameters van de zandige kreeksedimenten bepaald. De gevonden waarden zijn in overeenstemming met de facieswisselingen die deze sedimenten kenmerken.

In de Avekapellekreek varieert de horizontale doorlatendheid k_h van 4,7 m/d in de fijne facies tot 19,9 m/d in de grove facies. De bergingscoëfficiënt S bedraagt $0,2 \cdot 10^{-3}$ tot $0,7 \cdot 10^{-3}$.

In de IJzercreek worden voor de horizontale doorlatendheid waarden van 4,0 m/d tot 6,7 m/d gevonden, de bergingscoëfficiënt varieert van $0,7 \cdot 10^{-3}$ tot $2,1 \cdot 10^{-3}$.

De hydraulische weerstand c tegen verticale stroming is in beide kreekken gering.

Het grondwaterstromingspatroon in de IJzervlakte vertoont algemeen een afvloeien vanuit de hoger gelegen kreekgebieden naar de omringende lager gelegen poelgebieden enerzijds en naar de diverse afwateringskanalen anderzijds.

Gedurende droge zomers kunnen de kreekgebieden evenwel een stijghoogte vertonen die lager is dan deze van de poelgebieden en zelfs van deze van de afwateringskanalen, waardoor de grondwaterstromingsrichting omkeert.

De oorzaak hiervan dient te worden gezocht in de ongelijke invloed die de afwateringskanalen uitoefenen op de poelgronden enerzijds en de kreekgebieden anderzijds en in de verschillende begroeiing die beide gebieden kenmerkt.

De samenstelling van het grondwater in de IJzervlakte en het grillig patroon waarin de verschillende kwaliteiten voorkomen staan in nauw verband met de geologische evolutiegeschiedenis van het gebied. De kreekgebieden, die door hun hoge ligging en de grote doorlatendheid van de samenstellende sedimenten gekenmerkt zijn door de infiltratie van neerslagwater, vormen nagenoeg de enige zoetwatervoorraden in de IJzervlakte. In de omliggende poelgebieden wordt de infiltratie van neerslagwater vaak belemmerd door hun lage ligging, de intensieve ontwatering en de geringe doorlatendheid van de samenstellende sedimenten. Deze gebieden zijn dan ook gekenmerkt door het voorkomen van zout of brak water nabij de watertafel.

In de kreeksedimenten ving de evolutie van de grondwaterkwaliteit in hoofdzaak aan nadat de zee zich definitief had teruggetrokken uit het kustgebied. De mariene invloed manifesteerde zich in de sedimenten enerzijds als zouten in de poriënoplossing, anderzijds als Na, K, Mg-ionen geadsorbeerd door de kleideeltjes. Als gevolg van infiltratie van neerslagwater werd het zoute water geleidelijk aan verdreven naar de diepere delen van het kwartaire grondwaterreservoir.

De huidige grondwaterkwaliteit is, naast de menging van konnaat zeewater met zoet infiltratiewater, verder nog beïnvloed door 4 processen : de oplossing van calciet en de oxydatie van ijzersulfiden in de onverzadigde zone, kationuitwisseling en de oxydatie van organisch materiaal in de diepere delen van het grondwaterreservoir. Laatstgenoemd proces gaat gepaard met sulfaatreductie.

De diepste waters in de kreeksedimenten zijn brak in de IJzercreek en zout in de Avekapellekreek, en van het S-NaCl, het Bs-NaCl, het B-NaCl, het B-NaHCO₃ of het B-CaHCO₃-type, in volgorde van afnemende zeezoutbijdrage. Ze zijn sterk beïnvloed door kationuitwisseling, waarbij de geadsorbeerde zeezouten Na en K werden uitgewisseld tegen Ca uit het zoete infiltratiewater. Op deze wijze ontstond grondwater met een hoog gehalte aan Na en K (overschot t.o.v. de natuurlijke zeezoutbijdrage) en een laag gehalte aan Ca.

Opmerkelijk is dat Mg zich vaak niet volgens de kationuitwisselingssequentie gedraagt en net zoals Ca lage concentraties vertoont. Mg wordt blijkbaar onder zeer speciale omstandigheden eveneens tegen Na en K uitgewisseld.

Onder invloed van sulfaatreduktie zijn de waters gekenmerkt door zeer lage SO_4 -gehalten (tot 1400 mg/l SO_4 -tekort t.o.v. de natuurlijke zeezoutbijdrage) en zeer hoge HCO_3 -gehalten.

Op deze waters rusten respektievelijk zoet-brak en zoet grondwater van het Fb- CaHCO_3 en het F- CaHCO_3 -type. Deze waters vertonen nog slechts een geringe mariene invloed en zijn weinig of niet meer beïnvloed door kationuitwisseling. De concentraties van de kationen Na, K en Mg stemmen dan ook overeen met de natuurlijke zeezoutbijdrage van deze elementen.

Als gevolg van de oplossing van calciëet in de onverzadigde zone is het gehalte aan Ca en HCO_3 vrij hoog. Het grondwater is tevens gekenmerkt door een belangrijk overschot aan SO_4 t.o.v. de natuurlijke zeezoutbijdrage, dit door de oxydatie van ijzersulfiden welke in de kleilagen van het Subatlanticum voorkomen. Bij dit proces komen Fe en SO_4 vrij.

Het voorkomen in de Avekapellekreek van zout grondwater gekenmerkt door een omgekeerde kationuitwisseling wijst op een verdringing van zoet(er) door zout(er) water. Hierbij wordt het aan de kleideeltjes geadsorbeerde Ca uitgewisseld tegen Na en K uit het infiltratiewater, met als gevolg een Na- en K-tekort en een Ca-overschot t.o.v. de natuurlijke zeezoutbijdrage.

In de Avekapellekreek is in de loop van de geologische evolutiegeschiedenis bijgevolg zoet(er) water aanwezig geweest dat tijdens het Subatlanticum gedeeltelijk werd verdrongen.

Om de grondwatersamenstelling in de weinig doorlatende poelgebieden te onderzoeken werd gebruik gemaakt van de "high pressure filtration technique". Hierbij wordt de poriënvloeistof uit grondstalen geperst onder hoge druk.

Met het oog hierop werd, steunend op de literatuur, een extractietoestel ontwikkeld.

De analyseresultaten van de aldus geëxtraheerde poriënwaters lieten toe de resistiviteitsmetingen in het boorgat thans ook te iken voor fijnkorrelige sedimenten (klei, leem, veen). Deze laatsten zijn gekenmerkt door een variatie van de formatiefaktor F met de poriënwatersamenstelling, waardoor de klassieke formule van Archie ($\rho_t = F \cdot \rho_w$) voor de afleiding van de grondwaterkwaliteit uit de gemeten formatieresistiviteit niet mag worden aangewend.

De beste relatie tussen de poriënwatersresistiviteit ρ_w en de formatieresistiviteit ρ_t gemeten in het boorgat werd verkregen met de formule : $\rho_w = -0,703 + 1,483 \cdot \log \rho_t$.

Met behulp van statistische methoden kon de grotere nauwkeurigheid van deze formule in vergelijking met de formule van Archie worden aangetoond.

De chemische samenstelling van het grondwater in de poelgebieden wordt zoals in de kreeksedimenten door dezelfde vier processen bepaald. Door de geringe infiltratie van zoet water worden de verschillende watertypes evenwel hoger aangetroffen.

Naarmate men zich verder van de kustlijn verwijderd neemt het zoutgehalte van het grondwater in de poelgebieden af. Deze gradient in zoutgehalte is niet ontstaan na de definitieve terugtrekking van de zee uit het gebied, doch was reeds eigen aan de holocene periode zelf. De gradient hangt bijgevolg samen met de vormingsgeschiedenis van de IJzervlakte.

Wegens de geringe doorlatendheid van de sedimenten in de poelgebieden en de hiermee samenhangende trage grondwaterstroming vertoont het grondwater in de poelgebieden nog duidelijk de sporen van de opeenvolgende geologische ontwikkelingsfasen.

Tussen de Frans-Belgische grens en Elzendamme kunnen twee perioden worden onderscheiden : een periode met zoutwaterintrusie gevolgd door een periode met zoetwaterinfiltratie.

De eerste periode duidt op de infiltratie van zout water tijdens het Subatlanticum in een gebied dat van het Preboreaal tot en met het Subboreaal gekenmerkt was door een zoet milieu. De infiltratie van zout water gebeurde vanuit plassen, ontstaan als gevolg van overstromingen van de getijdegeul die thans de IJzerekreek vormt. Het infiltrerende zoute water was geen zeewater doch werd verdund door afvloeiend zoet water vanuit de zandleemstreek. Door het zoute infiltratiewater werd het zoete grondwater uit de sedimenten gewassen en door kationuitwisseling ontstond verziltingswater (Na en K-tekort).

Na de definitieve terugtrekking van de zee uit het kustgebied startte de infiltratie van zoet neerslagwater dat het zoute grondwater langzaam terugdrong tot in de diepere delen van het kwartaire grondwaterreservoir en zelfs tot in het tertiair substraat. Kationuitwisseling gaf aanleiding tot verzoetingswater (Na en K-overschot).

Deze algemene verzoeting is thans nog aan de gang.

Te Noordschote vertoont het grondwater aan de basis van de kwartaire sedimenten eveneens verziltingskenmerken. Hierop rusten verzoetingswaters. Te Avekapelle worden van onder naar boven verziltingswaters, verzoetingswaters, verziltingswaters en opnieuw verzoetingswaters vastgesteld. Deze gebieden zijn, in vergelijking met de IJzervlakte stroomopwaarts van Pollinkhove, door meer ontwikkelingsstadia gekenmerkt. Belangrijk in dit verband is de mariene invloed tijdens het Atlanticum in deze gebieden, daar waar in de stroomopwaarts gelegen gebieden in deze periode een zoet milieu gehandhaafd bleef.

De sedimenten van het Pleistoceen, het Preboreaal en het Boreaal waren in oorsprong verzadigd met zoet water. Het zoete water werd verdrongen door zout infiltratiewater van het Atlanticum, wat aanleiding gaf tot grondwater met verziltingskenmerken.

Tijdens het Subboreaal waren de afzettingssomstandigheden in hoofdzaak zoet. Als gevolg van dichtheidsverschillen enerzijds en een mogelijk wisselend relief in het veenlandschap anderzijds mag een insijpeling van zoet water, met vorming van verzoetingswaters, in deze periode zeker niet worden uitgesloten.

Gedurende het Subatlanticum heersten uitgesproken mariene omstandigheden, met een infiltratie van zout water uit lagunes. In deze periode werden de verzoetingswaters van het Subboreaal verdrongen, met vorming van verziltingswaters.

De algemene verzoeting na de definitieve terugtrekking van de zee zorgde voor de vorming van grondwaters met verzoetingskenmerken. Het betreft achtereenvolgens brak-zout, brak, matig brak, zoet-brak en zoet grondwater.

Met behulp van een mathematisch model werd de vorming van de zoetwaterlens in de Avekapellekreek gesimuleerd. De beste overeenkomst met de op het terrein waargenomen kwaliteitsverdeling werd bekomen door het beschouwen van drie evolutiestadia : een eerste fase van 600 jaar na de definitieve terugtrekking van de zee uit het studiegebied, een tweede fase van 150 jaar waarin de afwatering van het gebied werd verbeterd en een derde fase van 40 jaar met, als gevolg van een aanzienlijke verbetering van het afwateringssysteem, het ontstaan van de huidige stijghoogteverdeling.

Reeds na 200 jaar is het zoute water in de kreek teruggedrongen tot op de Ieperiaanklei, de verdere verzoeting gebeurt langzamer ten gevolge van de relatief geringe grondwaterstroming nabij het tertiair substraat. In de omliggende poelgebieden is de uitspoeling van het konnate zeewater gering.

De verdere kwaliteitsveranderingen in fase 2 en fase 3 zijn beperkt en zijn vooral het gevolg van wijzigingen in het grondwaterpeil door een verbeterde afwatering.

Met het model werd aangetoond dat een wijziging van het afwateringssysteem met een verlaging van het algemene polderpeil tot gevolg niet noodzakelijk leidt tot grote kwaliteitsveranderingen. Dit is vooral te wijten aan de geringe doorlatendheid van de sedimenten in de poelgebieden, waardoor de grondwaterstroming gering is.

Een grondwaterwinning in de Avekapellekreek is zonder bijkomende maatregelen niet mogelijk. Een pumping met een debiet dat groter is dan de natuurlijke infiltratie zorgt onvermijdelijk voor een oprijzing van het grensvlak tussen zoet en zout grondwater waardoor de waterwinning na verloop van tijd verzilt.

Indien evenwel het brakke en zoute grondwater eerst wordt verwijderd is een winning van zoet grondwater wel mogelijk. Deze verwijdering kan worden versneld door een kunstmatige infiltratie van zoet water.

Uit de simulaties blijkt dat reeds na 10 jaar het grootste deel van het zoute grondwater is verdwenen ; na 20 jaar pompen is er geen zout water meer in de kreek aanwezig. Gedurende deze periode kan reeds een beperkt debiet aan zoet water worden gewonnen, na deze periode is een winning met een debiet van ca. 2.000.000 m³/jaar mogelijk.

REFERENTIES

- AMERIJCKX, J.B. (1959). De ontstaansgeschiedenis van de zeepolders.
Biekorf, 60,118 ; p 337-400.
- AMERIJCKX, J.B. (1960). De jongste geologische geschiedenis van de Belgische zeepolders.
Technisch-Wetenschappelijk Tijdschrift, 29, p 1-10.
- AMERIJCKX, J.B. (1961). La genèse des polders maritime belges.
De Aardrijkskunde, 13, p 1-16.
- APPELO, C. (1986). Chemical modelling of salt water intrusion.
Proc. 9th S.W.I.M., Delft, p 577-589.
- ARCHIE (1942). The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics.
Am. Inst. Mining Metall. Engineers Trans., 146, p 54-61.
- BAARS, J.K. (1960). Kwaliteitsveranderingen van het water tijdens zijn verblijf in de bodem.
Twaalfde vakantiekursus voor drinkwatervoorziening. Het grondwater. p 68-86.
Den Haag : Moormans periodieke pers.
- BAETEMAN, C. ; LAMBRECHTS, G. ; PAEPE, R. (1985). Autosnelweg Brugge-Calais. Boringen en geologisch profiel. Sectie : Veurne-Franse grens.
Prof. Paper Serv. Géol. Belg., 2, 55p.
- BAETEMAN, C. (1978). New evidence on the marine holocene in the Western Belgian coastal plain.
Bull. Belg. Ver. Geol., 87, p 49-54.
- BAETEMAN, C. ; VERBRUGGEN, C. (1979). A new approach to the so-called surface peat in the western coastal plain of Belgium.
Prof. Paper Serv. Géol. Belg., 11(167), 21p.
- BAETEMAN, C. (1981). De holocene ontwikkeling van de Westelijke Kustvlakte.
Brussel, Vrije Universiteit, 297p (doctoraatsverhandeling).
- BEAR, J. (1969). Hydrodynamic dispersion.
In : De Wiest, R.J.M. - Flow through porous media, p 109-199. New York, Academic Press.
- BERNER, R. (1971). Principles of chemical sedimentology.
Mc Graw-Hill, New York, 240 p.

- BISHOFF, J. ; GREER, R. ; LUISTRO, R. (1970). Composition of interstitial waters of marine sediments : temperature of squeezing effect.
Science, 167, p 1245-1246.
- BOLT, G.H. (1961). The pressure filtrate of colloidal suspensions. Experimental data on homoionic clays.
Kolloid Z., 175, p 144-150.
- BRUEVICH, S.V. (1966). Chemistry of interstitial waters in sediments of the Pacific Ocean (Russ.)
In. Khimiya Okeana Moscow : Izdat. Akad. Nauk., p 253-358.
- CARROL D. (1958). Ion exchange in clays and other minerals.
Bull. geol. Soc. Amer., 70, p 749-780.
- COOPER (1964). Seawater in coastal aquifers.
U.S. Geol. Surv. Water Supply Paper, 1613C, p1-84.
- DAKHNOV, V.N. (1962). Geophysical well logging.
Quart. Colorado School Mines, 57(2), 445 p.
- DAUCHOT-DEHON, M. ; VAN STRYDONCK, M. ; HEYLEN, J. ; GILOT, G. ; FRIX, F. ; DEVOS, J. ; BAETEMAN, C. (1986). Date carbone-14 concernant la geologie en Belgique.
Bull. Belg. Veren. Geol., v95(4), p 287-299.
- DE BREUCK, W. ; DE MOOR, G. ; MARECHAL, R. (1969). Litostratigrafie van de kwartaire sedimenten in het Oostelijk Kustgebied (België).
Nat. Wet. Tijdschr., 51, p 125-137.
- DE BREUCK, W. ; DE MOOR, G. ; MARECHAL, R. ; TAVERNIER, R. (1974). Diepte van het grensvlak tussen zoet en zout water in de freatische laag van het Belgische Kustgebied (1963-73). 1 kaart 1:100.000.
Proc. 4th S.W.I.M., Gent, bijlage.
- DE BREUCK, W. ; DE MOOR, G. (1974). The evolution of the coastal aquifer of Belgium.
Proc. 4th S.W.I.M., Gent, p 158-172.
- DE MOOR, G. ; DE BREUCK, W. (1969). De freatische waters in het Oostelijk Kustgebied en in de Vlaamse Vallei.
Nat. Wet. Tijdschr., 51, p 3-68.
- DE MOOR, G. ; DE BREUCK, W. (1973). Sedimentologie en stratigrafie van enkele pleistocene afzettingen in de Belgische Kustvlakte.
Nat. Wet. Tijdschr., 55, p 3-96.

- DE MOOR, G. ; HEYSE, I. (1974). Litostratigrafie van de kwartaire afzettingen in de overgangszone tussen de Kustvlakte en de Vlaamse Vallei in Noordwest-België.
Nat. Wet. Tijdschr., 56, p 85-109.
- DENYS, L. ; LEBBE, L. ; SLIGGERS, B.C. ; SPAINK, G. ; VAN STRIJDONCK, M. ;
VERBRUGGEN, C. (1983). Litho- and biostratigraphical study of quaternary deep marine deposits of the Western Belgian coastal plain.
Bull. Belg. Veren. Geol., 92, p 125-154.
- DE PAEPE, J. ; DE BREUCK, W. (1958). De drinkwatervoorziening van de landbouwbedrijven in West-Vlaanderen.
Provincie West-Vlaanderen, Economische monografiën.
- DEPRET, M. (1981). Litostratigrafie van het Kwartair en van het tertiaire substraat te Zeebrugge. Litologische en stratigrafische interpretatie van diepsonderingen met de konus van Begemann.
Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent, 186 p. (doctoraatsverhandeling).
- DESMEDT, J. (1986). De inventarisatie van gronden met wateroverlast in Veurne-Ambacht.
Meded. Rijksstation voor Landbouwtechniek, Merlebeke, 91, 75 p.
- DE SMEDT, F. ; MEES, G. ; VERHEYE, W. ; BRONDERS, J. ; DE SMEDT, F. ; FAUCONNIER, A. ;
HARTMANN, R. ; LAGA, P. ; RAMON, H. ; VAN DAMME, J. ; VAN LUIJN, C.A. ;
VANSTEELANDT, P. (1984). Bodem- en grondwater.
Vierde Vlaams Wetenschappelijk Congres voor Groenvoorziening "Water voor Groen". V.U.B., p 83-104.
- DEVOS, J. (1984). Hydrogeologie van het duingebied ten oosten van De Haan.
Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent, 219 p. (doctoraatsverhandeling).
- DREVER, J. (1971). Magnesium-iron replacement in clay minerals in anoxic marine sediments.
Science, 172, p 1334-1336.
- ENGELLEN, G.B. ; DE RUITER J.C. (1986). A case study of regional hydrological systems and fresh-salt water interaction in the western part of the Netherlands.
Proc. 9th S.W.I.M., Delft, p 177-191.
- FANNING, K. ; PILSON, M. (1971). Interstitial silica and pH in marine sediments : some effects of sampling procedures.
Science, 173, p 1228.
- FOLK, R.L. ; WARD, W.C. (1957). Brazos River Bar : a study in the significance of grain size parameters.
Journ. Sed. Petrol., 27, p 3-26.

- GRIM (1968). Clay Mineralogy.
Mc Graw-Hill, New York, 596 p.
- GULINCK, M. (1966). Hydrogeologie.
68 p., Brussel : Nationaal comité voor geografie.
- HANSHAW, B. ; COPLEN, T. (1973). Ultrafiltration by a compacted clay membrane.
II. Sodium exclusion at various ionic strenghts.
Geochim. et Cosmochim. Acta, 37, p 2311-2327.
- HARMSEN, J. ; VAN DRUMPT, H. (1983). Conservering van watermonsters, een nog lang niet
opgelost probleem.
H₂O, 16(3), 59-61.
- HEM, J. (1960). Restraints on dissolved ferrous iron imposed by bicarbonate, redox potential
and pH.
U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper, 1459-B, p 33-55.
- HEM, J. (1960). Some chemical relationships among sulfur species and dissolved ferrous iron.
U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper, 1459-C, p 57-73.
- HEM, J. (1970). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water.
U.S. Geol. Surv. Water-Supply Paper, 1473, p 1-363.
- IGCP-124 (1980). A lithostratigraphic scheme for the NW-European Tertiary Basin.
Newsl. Stratigr., 8(3), 236-237.
- KALIL, L.E. ; GOLDHABER, M. (1973). A sediment squeezer for removal of pore waters
without air contact.
Journ. Sed. Petrol., 43, p 553-557.
- KESTELOOT, E. (1970). De broeken van de IJzer, in zonderheid deze van de Blankaart.
Nat. Wet. Tijdschr., 34, p 144-158.
- KHARAKA, Y ; BERRY, F. (1973). Simultaneous flow of water and solutes through geological
membranes. I. Experimental investigation.
Geochim. et Cosmochim. Acta, 37, p 2577-2603.
- KONIKOW, L.F. ; BREDEHOEFT, J.D. (1978) Computer model of two-dimensional solute
transport and dispersion in ground water.
Techniques of water resources investigations of the U.S. geol. surv., chapter C2,
book 7, Automated data processing and computations, 90 p.

- KRIUKOV, P.A. (1947). Recent methods for physicochemical analysis of soils ; methods for separating soil solutions (Russ.).
In Rukovodstvo dlya polevykh i laboratornykh issledovaniy pochv., Moscow Izdat. Akad. Nauk, SSSR, p 3-15.
- KRIUKOV, P.A. (1964). Some questions of the examination of rock solutions (Russ.).
Chemistry of the earth's crust (Khimia zemnoi kory). Moskva : Izdat. Nauka, p 456-468.
- KRIUKOV, P.A. (1971). Interstitial waters of soils, rocks and sediments (Russ.)
Novosibirsk : Izdat. Nauka, p 219.
- KRIUKOV, P.A. ; KOMAROVA, N.A. (1956). Investigation of soil, mud and rock solutions (Russ.).
Mezhdunarodnomu kongressu pochvovedov, Moscow, 2d Kommiss. Doklady 6, p 151-184.
- KRIUKOV, P.A. ; ZHUCHKOVA, A.A. (1963). Phase potentials arising on pressing out solutions from gels (Russ.).
Izvestiya Sibirskogo Otdel. Akad. Nauk. SSSR, Ser. Khim. 4, p 121-122.
- KRIUKOV, P.A. ; MANHEIM, F.T. (1982). Extraction and investigative techniques for study of interstitial water of unconsolidated sediments : a review.
In : Fanning & Manheim (Eds) : The dynamic environment of the ocean floor. London, p 3-26.
- KRUSEMAN, G.P. ; DE RIDDER, N.A. (1970). Analysis and evaluation of pumping test data.
Inst. Land Reclamation and Improvement IRLI, bull. 11, 200 p., Wageningen.
- LEBBE, L. (1973). Hydrogeologisch onderzoek van het duingebied te Oostduinkerke.
Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent, 105 p. (licentiaatsverhandeling).
- LEBBE, L. (1978). Hydrogeologie van het duingebied ten westen van De Panne.
Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent, 164 p. (doctoraatsverhandeling).
- LEBBE, L. (1981). The subterranean flow of fresh and salt water underneath the western Belgian coastal plain.
Proc. 7th S.W.I.M., Uppsala, p 193-219.
- LEBBE, L. (1983). Mathematical model of the evolution of the fresh water lens under the dunes and beach with semi-diurnal tides.
Proc. 8th S.W.I.M., Bari, *Geologica Applicata e Idrogeologica*, 18(2), p 211-226.

- LEBBE, L. (1983). Een mathematisch model van de niet-permanente grondwaterstroming naar een pompput in een veellagig grondwaterreservoir en enkele beschouwingen over de stroomtijd.
Tijdschrift BECEWA, 70, p 35-48.
- LEBBE, L. (1984). Numerische simulatie van grondwaterkwaliteitsproblemen als hulp bij het beheer van de watervoorraden in het Vlaamse kustgebied.
Tijdschrift BECEWA, 76, p 67-88.
- LEBBE, L. (1986). Bepaling van de verticale doorlatendheid uit pompproefgegevens door middel van een eindig-verschil methode, gekombineerd met een gevoeligheids- en een niet-lineaire regressie analyse.
Nat. colloq. Belg. Com. Ingenieursgeologie, Luik, p 356-368.
- LEBBE, L. (1988). Uitvoering van pompproeven en interpretatie door middel van een invers model.
Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent, 563 p. (Proefschrift geaggregeerde Hoger Onderwijs).
- LEBBE, L. ; DE BREUCK, W. ; BOLLE, I. (1983). Salt water encroachment in the western Belgian coastal plain.
Proc. 8th S.W.I.M., Bari, p 285-298.
- LEBBE, L. ; PEDE, K. ; VAN HOUTTE, E. (1984). Analyse van pompproeven in een veellagig grondwaterreservoir met behulp van een mathematisch model.
Tijdschr. BECEWA, 78, p 132-146.
- LEBBE, L. ; PEDE, K. (1986). Salt-fresh water flow underneath old dunes and low polders influenced by pumpage and drainage in the western Belgian coastal plain.
Proc. 9th S.W.I.M., Delft, p 199-220.
- LEGRAND, R. (1962). Le Massif du Brabant.
Toel. Verh. Geol. Krt. Mijnkrt. Belg., 9, 148 p.
- LEPER, J. (1957). Kunstmatige inundaties in maritiem Vlaanderen, 1316-1945.
Tongeren, 327 p.
- LERMAN, A. (1978). Geochemical processes, water and sediment environments.
New York, John Wiley & Sons.
- LIPMAN, C.B. (1918). A new method of extracting the soil solution.
Univ. Calif. Publ. Agri. Sci., 3, p 131-134.

- LOUIS, A. ; VANDAMME, M. (1974). Bodemkaart van België. Verklarende tekst bij het kaartblad Lo (66W).
Gent : Centrum voor bodemkartering, 99 p.
- LUSCZYNSKI, N. ; SWARZENSKI, W. (1962). Fresh and salty groundwater in Long Island N.Y.
Am. Soc. Civil Engineers Proc. Hydraulics Div. Journ., 88, p 173-194.
- LUSCZYNSKI, N.J. (1960). Head and flow of ground water of variable density.
Journ. Geophys. Res., 66, p 4247-4256.
- MANGELSDORF, P. ; WILSON, T. ; DANIELL, E. (1969). Potassium enrichment in interstitial waters of recent marine sediments.
Science, 165, p 171-173.
- MANHEIM, F.T. (1966). A hydraulic squeezer for obtaining interstitial water from consolidated and unconsolidated sediments.
U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 550C, p 256-261.
- MANHEIM, F.T. (1968). Disposable syringe techniques for obtaining small quantities of pore water from unconsolidated sediments.
Journ. Sed. Petrol., 38, p 666-668.
- MANHEIM, F.T. (1973). Comparative studies on extraction of sediment interstitial waters : discussion and comment on the current state of interstitial water studies.
Clays and clay minerals, 22, p 337-343.
- MANHEIM, F.T. ; SAYLES, F.L. (1974). Composition and origin of interstitial waters of marine sediments based on deep sea drill cores.
In : The sea, ideas and observations (Goldberg ed.), vol 5, p 527-568. New York : Wiley & Sons.
- MANHEIM, F.T. ; SCHUG, D.M. (1978). Interstitial waters of Black Sea cores.
Initial Reports D.S.D.P., vol. XLII(2), p 637-651.
- MANHEIM, F.T. ; PAULL, C.K. (1981). Patterns of groundwater salinity changes in a deep continental oceanic transect off the southeastern Atlantic coast of the U.S.A.
Journ. Hydrol., 54, p 95-105.
- MANHEIM, F.T. ; GIESKES, J. (1983). Interstitial water methods.
In : Sedimentology, physical properties and geochemistry in the initial reports of the D.S.D.P. An overview. (Ross Heath ed.).
- MARECHAL, R. (1948). Geologisch en geomorfologisch onderzoek van de streek Lo-Diksmuide.
Geologisch Instituut. Rijksuniversiteit Gent. 46 n. (licentiaatsverhandeling).

- MARECHAL, R. (1954). Ontstaan en morfologie van de Golf van Lo.
Nat. Wet. Tijdschr., 35, 159-166.
- MARECHAL, R. ; DE BREUCK, W. ; DE MOOR, G. ; VERHEYE, W. (1964). Survey West-Vlaanderen. Geologie.
Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent, 53 p.
- MATTHESS, G. (1982). The properties of ground water.
New York : John Wiley & Sons, 406 p.
- MEINARDI, C.R. (1974). De chemische samenstelling van het grondwater in de Veluwe.
R.I.D. meded., 1974-4, 48 p.
- MOORMANN, F.R. (1951). De bodemgesteldheid van het Oudland van Veurne-Ambacht.
Nat. Wet. Tijdschr., 33, p 3-124.
- MOORMANN, F.R. (1951). Bodemkaart van België. Verklarende tekst bij het kaartblad Lampernisse (51W).
Gent : Centrum voor bodemkartering, 55 p.
- MOORMANN, F.R. ; AMERIJCKX, F. (1950). De bodemgesteldheid van de zeepolders.
Versl. I.W.O.N.L., 4, 37-60.
- MOSTAERT, F. (1980). Bijdrage tot de kennis van de jong-pleistocene en holocene afzettingen in de omgeving van Brugge.
Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent, 106 p. (licentiaatsverhandeling).
- MOSTAERT, F. (1985). Bijdrage tot de kennis van de kwartairgeologie van de oostelijke kustvlakte op basis van sedimentologisch en litostratigrafisch onderzoek.
Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent, 588 p. (doctoraatsverhandeling).
- MURRAY, J.W. ; GRUNDMANIS, V. ; SMETHIE, W.M. (1978). Interstitial water chemistry in the sediments of Saanich Inlet.
Geochim. et Cosmochim. Acta, 42, p 1011-1026.
- MURTHY, A. ; FERREL, R. (1972). Comparative chemical composition of sediments.
Clays and clay minerals, 20, p 317-321.
- MURTHY, A. ; FERREL, R. (1973). Distribution of major cations in estuarine sediments.
Clays and clay minerals, 21, p 161-165.
- NISSENBAUM, A. ; PRESLEY, B. ; KAPLAN, I. (1972). Early diagenesis in a reducing fjord, Saanich Inlet, British Colombia. I. Chemical and isotopic changes in major components of interstitial water.
Geochim. et Cosmochim. Acta, 36, p 1007-1027.

- NORTHROP, Z. (1918). The true soil solution.
Science, 47, p 638-639.
- OZER, A. (1976). La morphologie des polders. Les dépôts côtiers holocènes.
Géomorphologie de la Belgique, p 17-27.
- PAEPE, R. (1960). La plaine maritime entre Dunkerque et la frontière belge.
Bull. Soc. belge Et. Géogr., 29, 1, p 47-66.
- PAEPE, R. (1971). Autosnelweg Brugge-Calais. Boringen en geologisch profiel.
Prof. Paper Serv. Géol. Belg., 9, 59 p.
- PAEPE, R. ; VANHOORNE, R. (1972). An outcrop of Eemian wadden deposits at Meetkerke (Belgian coastal plain).
Prof. Paper Serv. Géol. Belg., 7, 9 p.
- PAEPE, R. ; VANHOORNE, R. ; DERAYMAKER, D. (1972). Eemian sediments near Bruges (Belgian coastal plain).
Prof. Paper Serv. Géol. Belg., 9, 12 p.
- PAEPE, R. ; VANHOORNE, R. (1976). The quaternary of Belgium in its relationship to the stratigraphical legend of the geological map.
Toel. Verh. Geol. Krt. Mijnkrt. Belg., 18, 38 p.
- PAEPE, R. ; SOMME, J. ; CUNAT, N. ; BAETEMAN, C. (1976). Flandrian, a formation or just a name?
Newsl. Stratigr., 5(1), 18-30.
- PAEPE, R. ; BAETEMAN, C. (1979). The Belgian coastal plain during the quaternary.
The quaternary history of the North Sea. Acta Univ. Ups. Symp. Univ. Ups. Annum Quingentesium Celebrantis, 2, p 143-146.
- PAEPE, R. ; BAETEMAN, C. ; MORTIER, R. ; VANHOORNE, R. (1981). The marine pleistocene sediments in the Flandrian area.
Geologie en Mijnbouw, p 321-330.
- PIPER, A. (1944). A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses.
Am. Geophys. Un. Trans., 25, p 914-923.
- PONNIAH, J. (1977). Pollenanalytic studies of the Holsteinian in the Izenberge area, Belgium.
Proefschrift IFAQ, 22 p., Brussel.
- RAMANN, E. ; MARZ, S. ; BAUER, H. (1916). Über bodenpress-säfte.
Int. Mitt. für Bodenkunde, 6(1), p 27-34.

- RICHARDS, F.A. (1965). Anoxic basins and fjords.
In : Chemical oceanography (Riley & Skirrow ed.), vol. 1, p 611-645. Academic press.
- RILEY, J.P. ; SKIRROW, G. (1965). Chemical oceanography.
London : Academic press.
- RUTOT, A. (1897a). Nouvelles observations sur le Flandrien.
Bull. Soc. Belge Géol., 11(mém.), p 160-165.
- RUTOT, A. (1897b). Les origines du quaternaire de la Belgique.
Bull. Soc. Belge Géol., 11(mém.), p 1-40.
- SAYLES, F.L. (1970). Preliminary geochemistry.
In Initial reports D.S.D.P., vol. 4, p 645-655.
- SAYLES, F.L. ; MANHEIM, F.T. ; CHAN, K.M. (1970). Interstitial water studies on small core samples .
In Initial reports D.S.D.P., vol. 4, p 401-414.
- SAYLES, F.L. ; MANHEIM, F.T. ; WATERMAN, L.S. (1970). Interstitial water studies on small core samples .
In Initial reports D.S.D.P., vol. 15.
- SAYLES, F.L. ; MANHEIM, F.T. (1975). Interstitial solutions and diagenesis in deeply buried marine sediments : results from the D. S. D. P.
Geochim. et Cosmochim. Acta, 39, p 103-127.
- SCHOELLER, H. (1962). Les eaux souterraines.
Paris : Masson, 624 p.
- SCOTT KEYS, W. ; Mc CARY, L. (1973). Location and characteristics of the interface between brine and fresh water from geophysical logs of boreholes in the Upper Brazos River Basin, Texas.
U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 809B, 23p.
- SCOTT KEYS, W. ; Mc CARY, L. (1976). Application of borehole geophysics to water resources investigations.
Techniques of water resources investigations of the U.S. Geol. Surv., book 2, Collection of environmental data, chapter E1, 126 p.
- SHISHKINA, O.V. (1968). Methods of studying marine and oceanic pore fluids (Russ.).
In Porovye rastvory i metody ikh izucheniya (ed. Bogomolov), p 167-177. Nauka i Tekhnika, Minsk.

- SHISHKINA, O.V. (1972). Geochemistry of marine interstitial waters (Russ.).
227 p., Nauka Moskow.
- SHOLKOVITZ, E. (1973). Interstitial water chemistry of the Santa Barbara Basin sediments.
Geochim. et Cosmochim. acta, 37, p 2043-2073.
- SIEVER, R. (1962). A squeezer for extracting interstitial water from modern sediments.
Journ. Sed. Petrol., 32, p 329-331.
- SIEVER, R. ; BECK, K. ; BERNER, R. (1965). Composition of interstitial waters of modern
sediments.
Journ. Geol., 73, p 39-73.
- SOMME, J. ; PAEPE, R. ; BAETEMAN, C. ; BEYENS, L. ; CUNAT, N. ; GEERAERTS, R. , HARDY,
A.F. ; HUS, J. ; JUVIGNE, E. ; MATHIEU, L. ; THOREZ, J. ; VANHOORNE R. (1978).
La formation d'Herzeele : un nouveau stratotype du Pleistocène moyen marin de
la Mer du Nord.
Bull. Am. Franç. Et. Quatern., 15, 54-55-56, p 81-149.
- STANDARD METHODS (1975). for the examination of water and wastewater.
847 p., New York : American public health association.
- STOCKMANS, F. ; VANHOORNE, R. (1954). Etude botanique du gisement de tourbe de la
région de Pervijze (plaine maritime belge).
Verh. Kon. Belg. Inst. Natuurwet., 130, 144 p.
- STUMM, W. ; MORGAN, J. (1981). Aquatic chemistry. 2nd Edition.
780 p., New York, John Wiley & Sons.
- STUYFZAND, P. (1983). Belangrijke foutenbronnen bij bemonstering van grondwater via peil-
en minifilters.
H₂O, 16(4), p 87-94.
- STUYFZAND, P. (1984). Effekten van vegetatie en luchtverontreiniging op de grondwater-
kwaliteit in kalkrijke duinen bij Castricum : lysimeterwaarnemingen.
H₂O, 17, p 152-159.
- STUYFZAND, P. (1985). Hydrochemie en hydrologie van het duingebied tussen Egmont en
Wijk aan Zee.
SWE-85.012, 205 p., Rijswijk : KIWA N.V.
- STUYFZAND, P. (1986). A new hydrochemical classification of watertypes : principles and
application to the coastal dunes aquifer system of the Netherlands.
Proc. 9th S.W.I.M., Delft, p 641-655.

- TAVERNIER, R. (1943). De kwartaire afzettingen van België.
Nat. Wet. Tijdschr., 25, p 121-137.
- TAVERNIER, R. (1946). L'évolution du Bas-Escaut au Pleistocène-supérieur.
Bull. Soc. Belg. Géol., 55, p 106-125.
- TAVERNIER R. (1947). L'évolution de la plain maritime belge.
Bull. Soc. Belg. Géol., 56, p 332-343.
- TAVERNIER, R. ; MOORMANN, F.R. (1954). Les changements du niveau de la mer dans la
plaine maritime flamande pendant l'Holocène.
Geologie en Mijnbouw, 16, p 201-206.
- TAVERNIER, R. ; de HEINZELIN (1962). De Cardium-lagen van West-Vlaanderen.
Nat. Wet. Tijdschr., 44, p 49-58.
- TAVERNIER, R. ; AMERIJCKX, J. (1970). Kust, duinen, polders.
Atlas van België, blad 17, 32 p.
- THOEN, H. (1978). De Belgische kustvlakte in de Romeinse Tijd.
Verh. Kon. Acad. Wet. Lett. Schone Kunsten Belg., 88, 225 p.
- THORNTHWAITE, C.W. ; MATTER, J.R. (1955) The water balance.
Publ. Climatology, 8(1), p 1-86.
- THORNTHWAITE, C.W. ; MATTER, J.R. (1957) Instructions and tables for computing
potential evapotranspiration and the water balance.
Publ. Climatology, 10(3), p 185-311.
- T'JONCK, G. (1959). Bodemkaart van België. Verklarende tekst bij het kaartblad Hoogstade.
(65E).
Gent : Centrum voor bodemkartering, 97 p.
- TODD, D.K. (1980). Groundwater hydrology, 2nd edition.
New York : John Wiley & Sons, 535 p.
- TSYBA, P.N. ; KRIUKOV, P.A. (1959). Comparison of methods of study of rock solutions
(Russ.)
Gidrokhim. materialy, 29, p 273-281.
- VAN DAM (1977). Determination of horizontal and vertical groundwater flow from
piezometric levels observed in groundwater of varied densities.
Delft Progr. Rep., 3, p 19-34.

- VAN HOVE, J. ; DE LEENHEER, L. ; APPELMANS, F. (1971) Vochtvariaties onder graan-
gewassen en suikerbieten in de twee voornaamste bodemtypen van de
Haspengouwse leemstreek.
Meded. Fakult. Landbouwwet. Gent, 36(2), p 779-801.
- VANHOORNE, R. (1962). Het interglaciale veen te Lo.
Nat. Wet. Tijdschr., 44, p 58-64.
- VOET, M. (1983). Afwatering in de Grote Veurne-Ambachtse Polder.
Water, 13, p 219-224.
- VON ENGELHARDT, W. ; GAIDA, K. (1963). Concentration changes of pore solutions during
compaction of clay sediments.
Journ. Sedim. Petrol., 33(4), p 919-930.
- WALRAEVENS, K. (1987). Hydrogeologie en hydrochemie van het Ledo-Paniseliaan in Oost-
en West-Vlaanderen.
Geologisch Instituut, Rijksuniversiteit Gent, 350 p. (doctoraatsverhandeling).
- WALRAEVENS, K ; VAN DIJCK, E. ; VAN CAMP, M. ; DE BREUCK, W. (1983).
Hydrogeologische verkenning van de stortplaats van N.V. Garwig te Woumen
(Diksmuide).
Gent : Rijksuniversiteit, Lab. Toegepaste Geologie en Hydrogeologie, 13 p.
- WORTHINGTON, P.F. (1986). The relationship of aquifer petrophysics to hydrocarbon
evaluation.
Quaterl. Journ. Engin. Geology, 19, p 97-107.

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
Faculteit van de Wetenschappen

**HYDROGEOLOGIE EN HYDROCHEMIE
VAN DE IJZERVLAKE
TUSSEN DE FRANS - BELGISCHE GRENS
EN AVEKAPELLE - PERVIJZE
(WESTELIJKE KUSTVLAKTE)**

Ludo ZEUWTS

Deel 2 : Figuren en bijlagen

Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad
van Doctor in de Wetenschappen
(Aard- en Delfstofkunde)

Promotor : Prof. Dr. W. De Breuck

1991

20016

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
Faculteit van de Wetenschappen

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

**HYDROGEOLOGIE EN HYDROCHEMIE
VAN DE IJZERVLAKE
TUSSEN DE FRANS - BELGISCHE GRENS
EN AVEKAPELLE - PERVIJZE
(WESTELIJKE KUSTVLAKTE)**

Ludo ZEUWTS

Deel 2 : Figuren en bijlagen

Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad
van Doctor in de Wetenschappen
(Aard- en Delfstofkunde)

Promotor : Prof. Dr. W. De Breuck

1991

FIGUREN

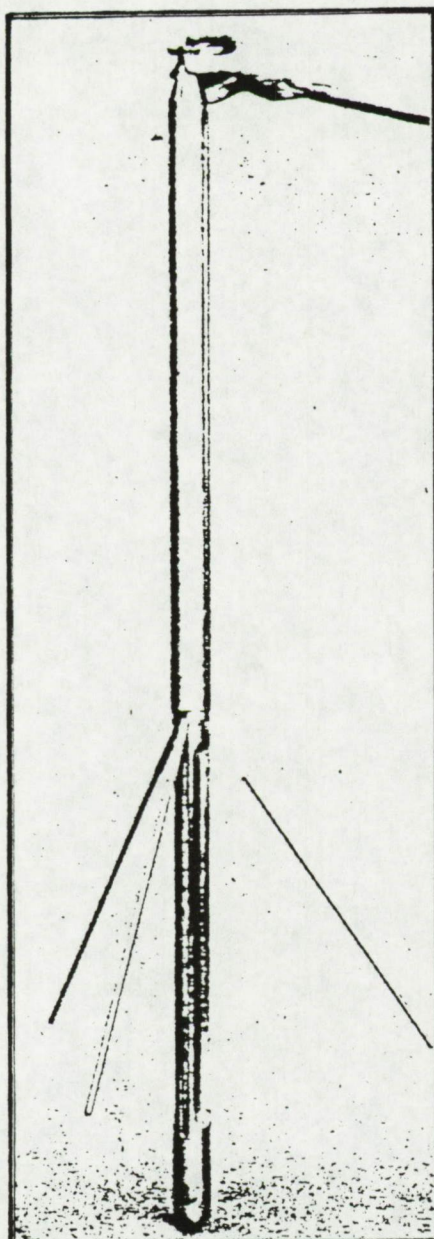


Fig. 2.1. - Sonde voor het meten van de boorgatdiameter (WALTER, 1976).

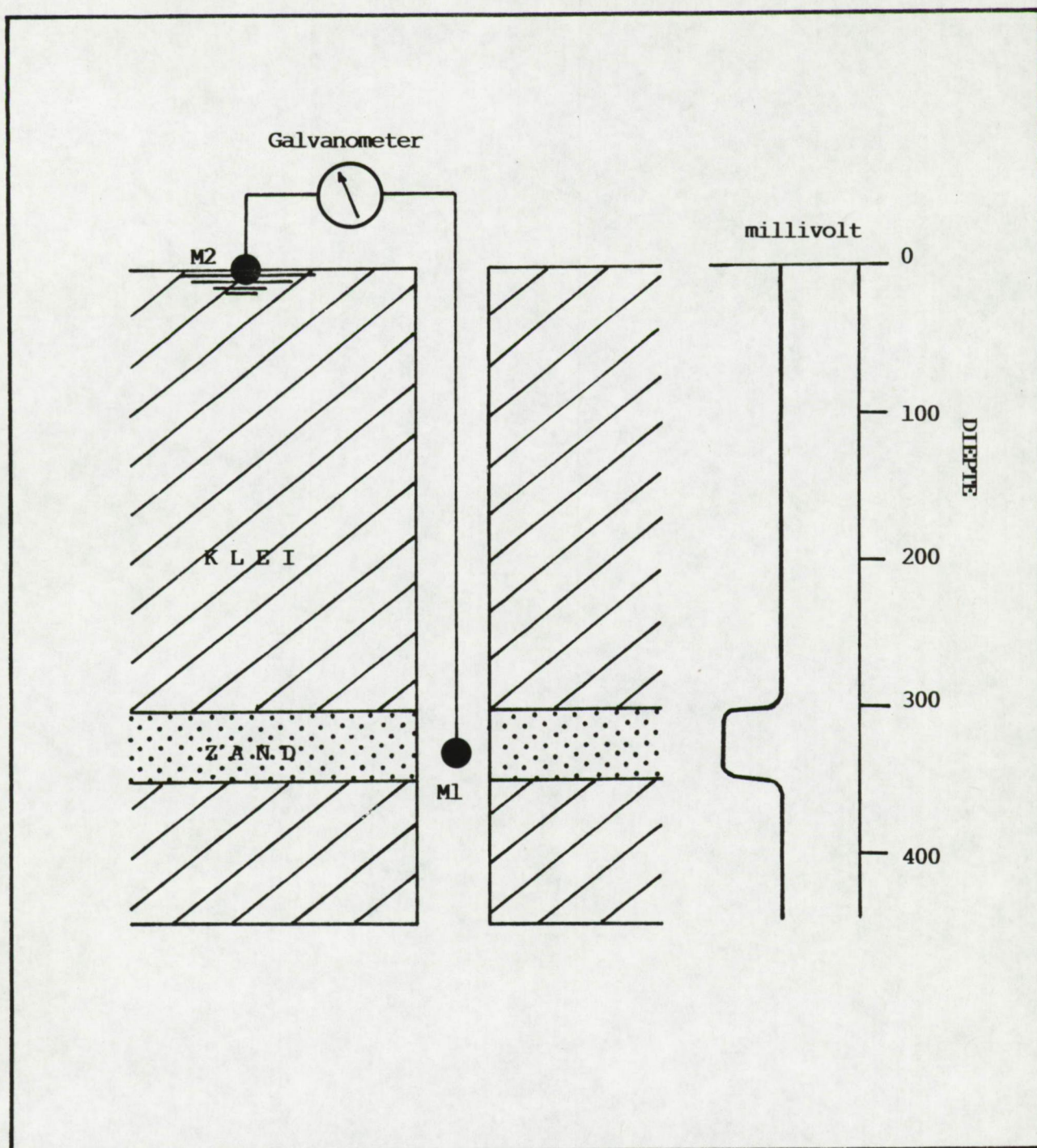


Fig. 2.2.a - Principe van de meting van de spontane potentiaal in het boorgat.
De potentiaal wordt gemeten tussen een elektrode in het boorgat (M1)
en een elektrode op het aardoppervlak (M2) (RIDER, 1986).

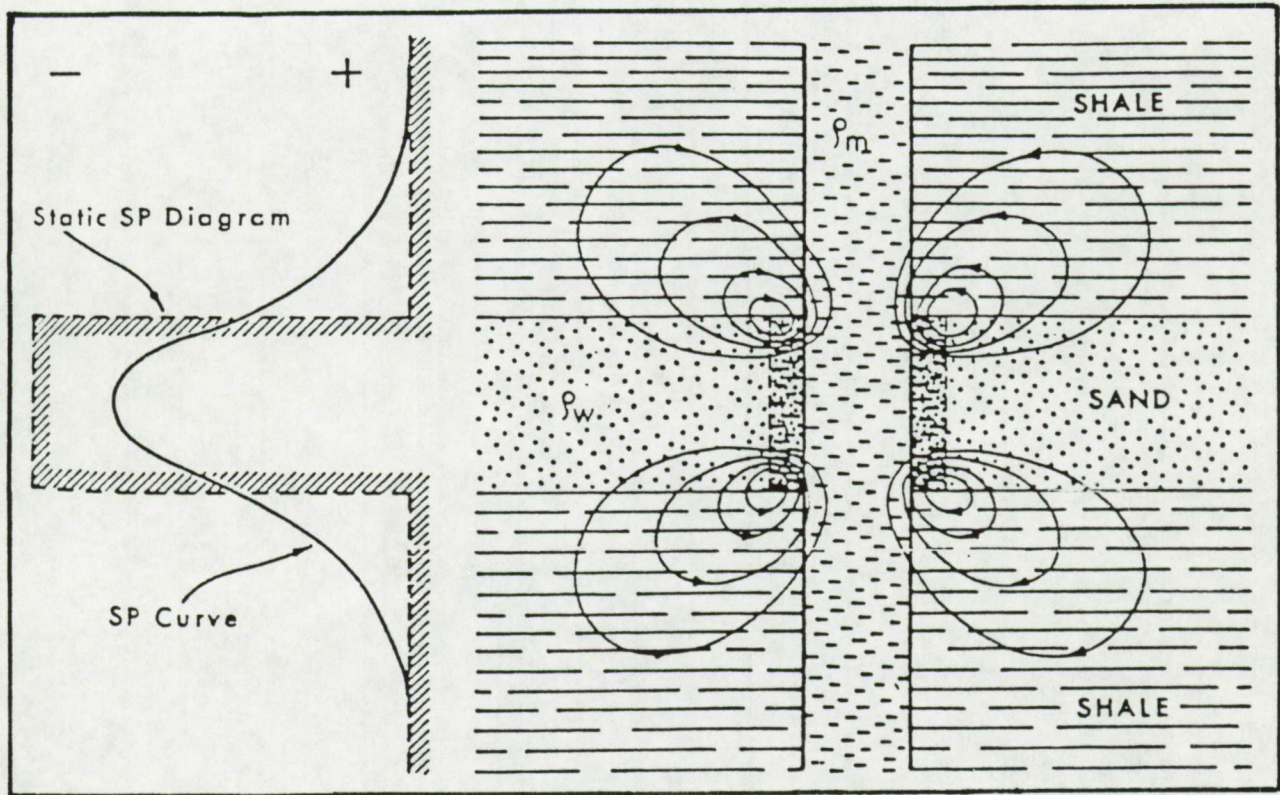


Fig. 2.2.b - Stroomlijnen ter hoogte van het contactvlak tussen klei en zand
(SCOTT KEYS en Mc CARY, 1976).

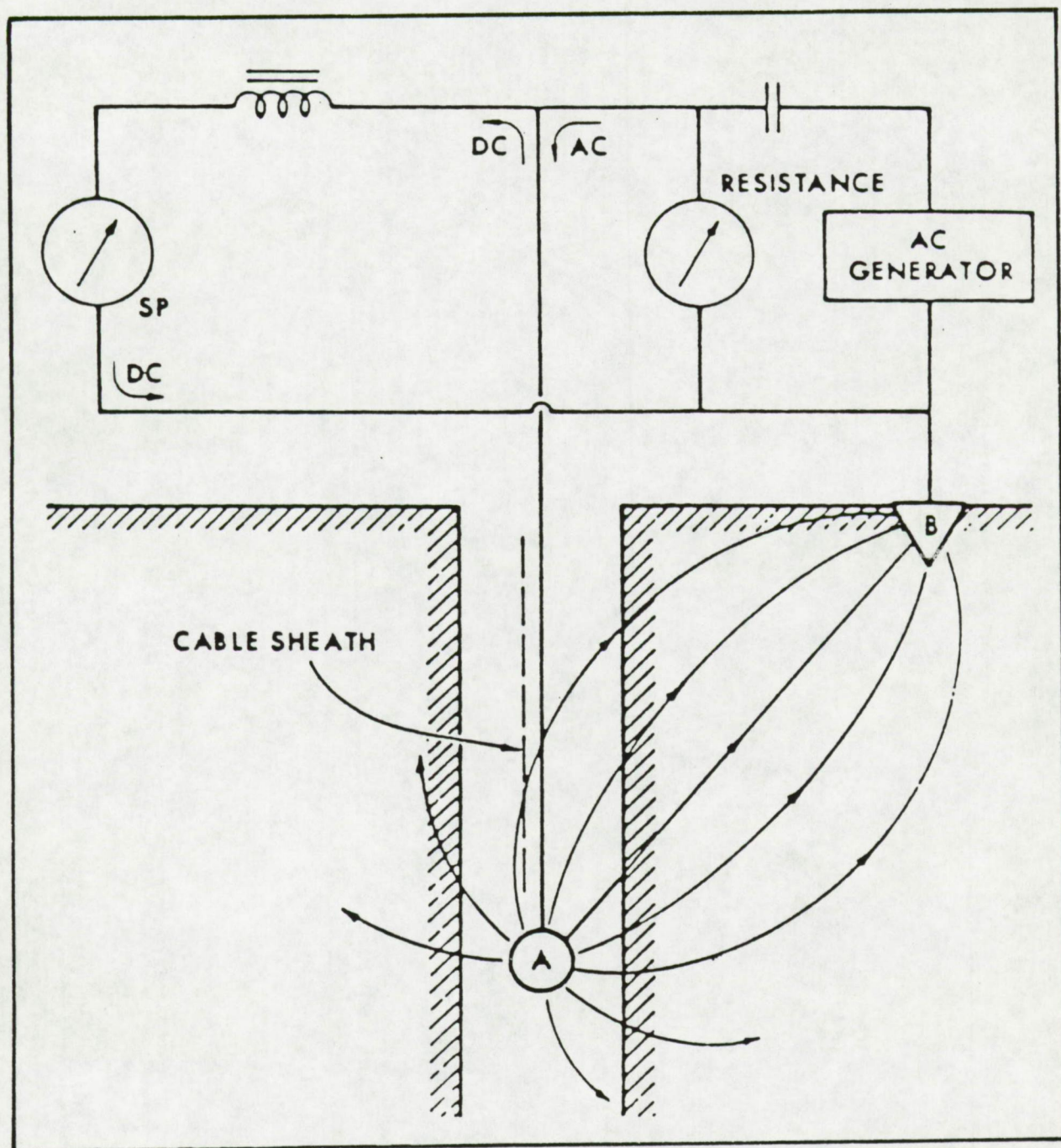


Fig. 2.3. - Principe van de meting van de elektrische puntweerstand in het boorgat (SCOTT KEYS en Mc CARY, 1976).

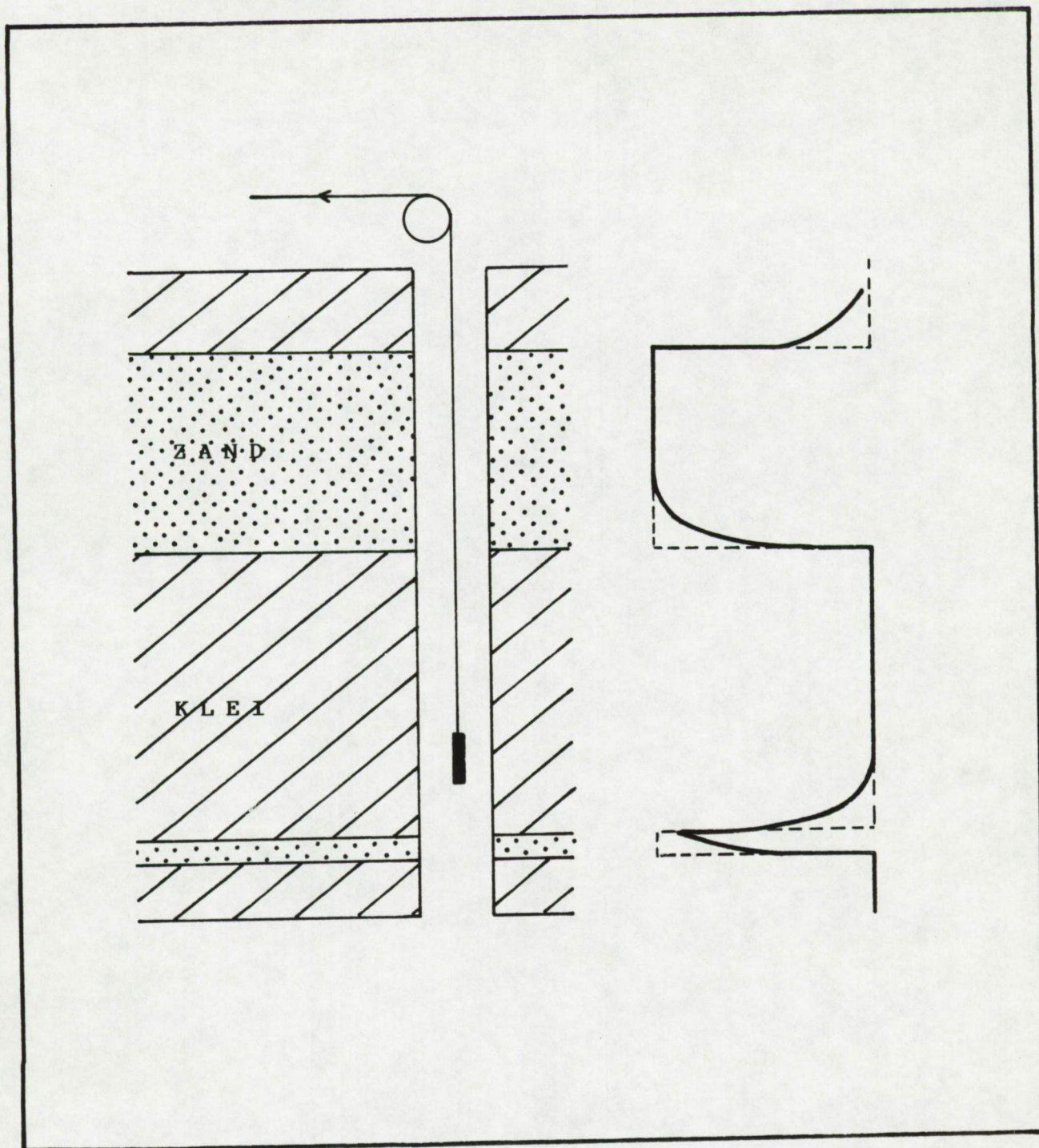


Fig. 2.4.a - Principe van de natuurlijke gammameting in het boorgat (WALTER, 1976).

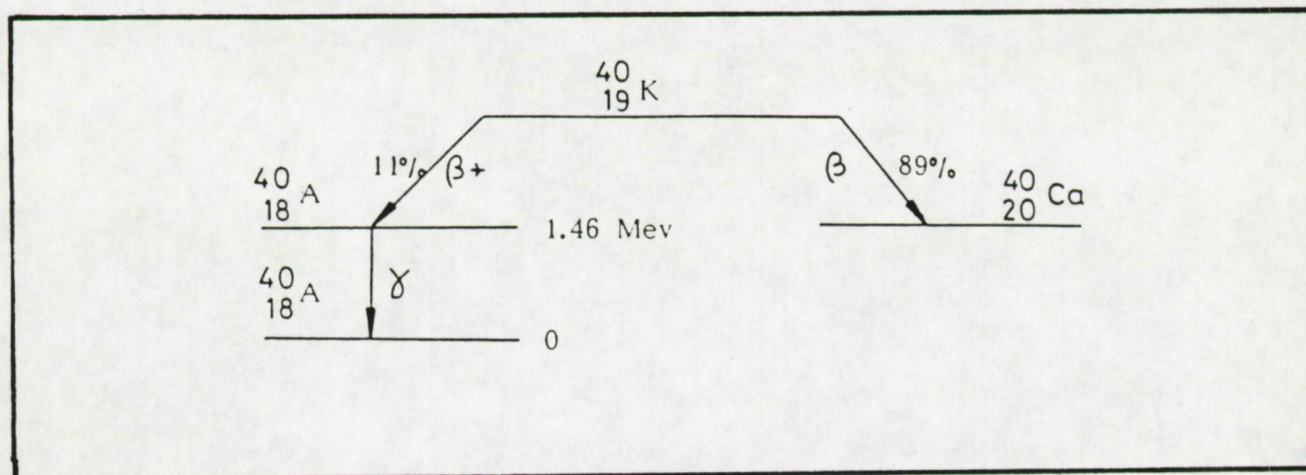


Fig. 2.4.b - Desintegratie van $^{40}_{19}\text{K}$.

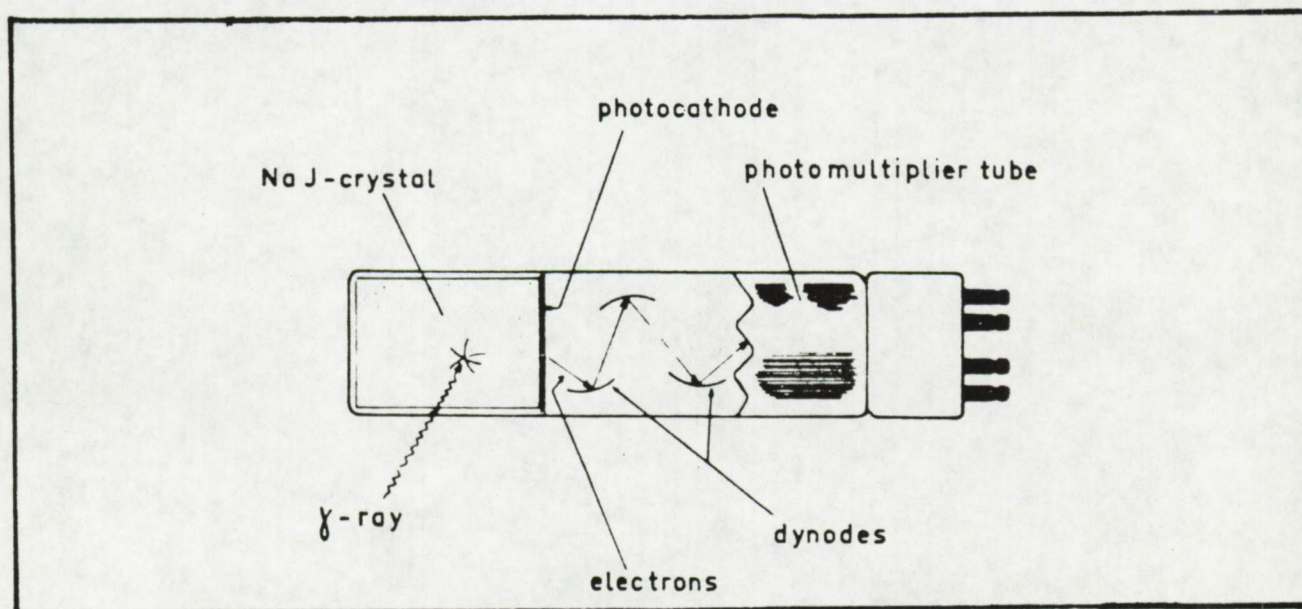


Fig 2.4.c - Sonde aangewend bij de natuurlijke gammameting in het boorgat.

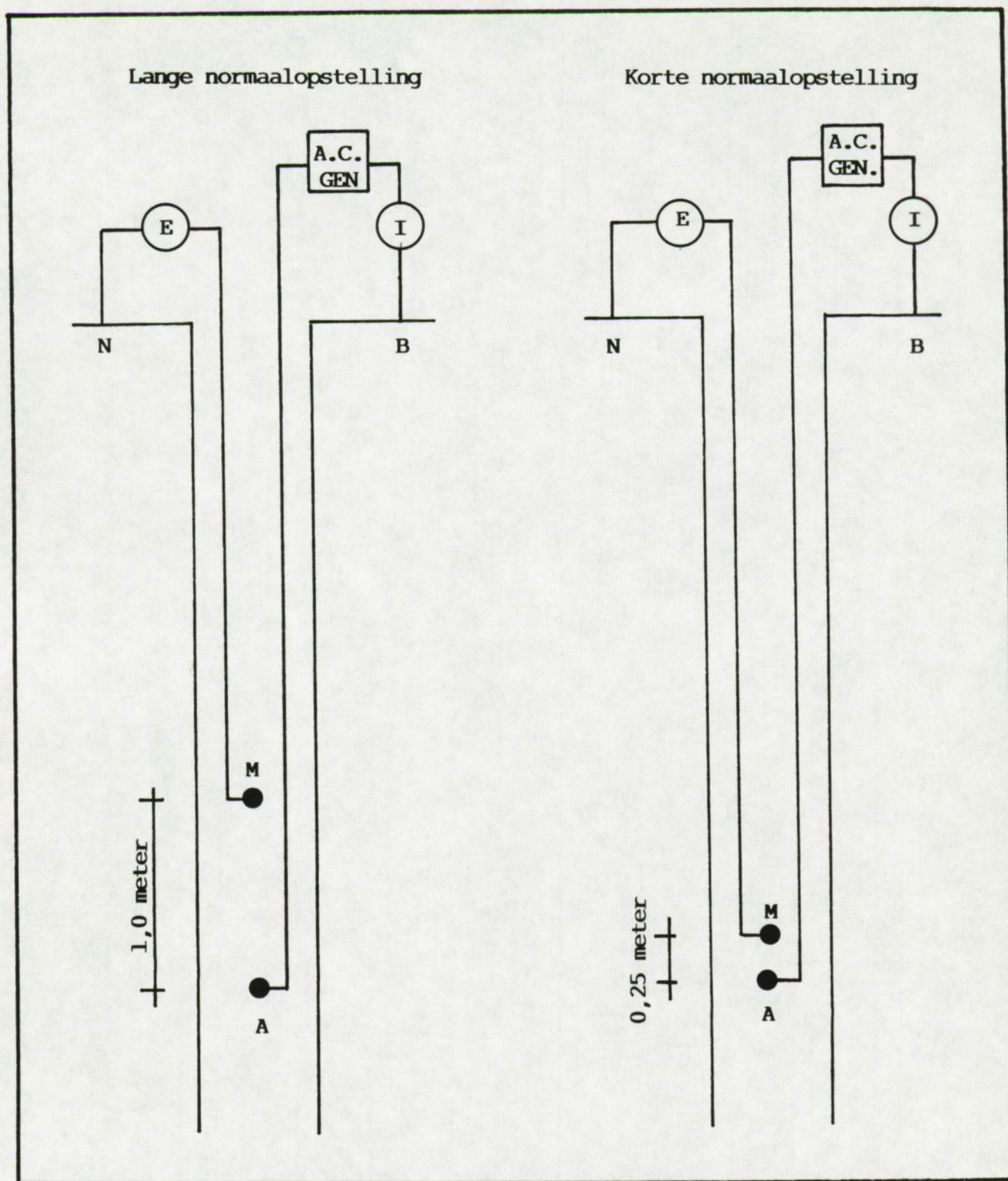


Fig. 2.5. - Principe van de resistiviteitsmeting in het boorgat met behulp van de normaalopstelling (SCOTT KEYS en Mc CARY, 1976).

- 1= zeer zware klei
- 2= zware klei
- 3= klei
- 4= lichte klei
- 5= zware zandhoudende klei
- 6= zandhoudende klei
- 7= leemhoudende klei
- 8= zware leem

- 9= leem
- 10= lichte leem
- 11= zware zandleem
- 12= zandleem
- 13= lichte zandleem
- 14= kleihoudend zand
- 15= leemhoudend zand
- 16= zand

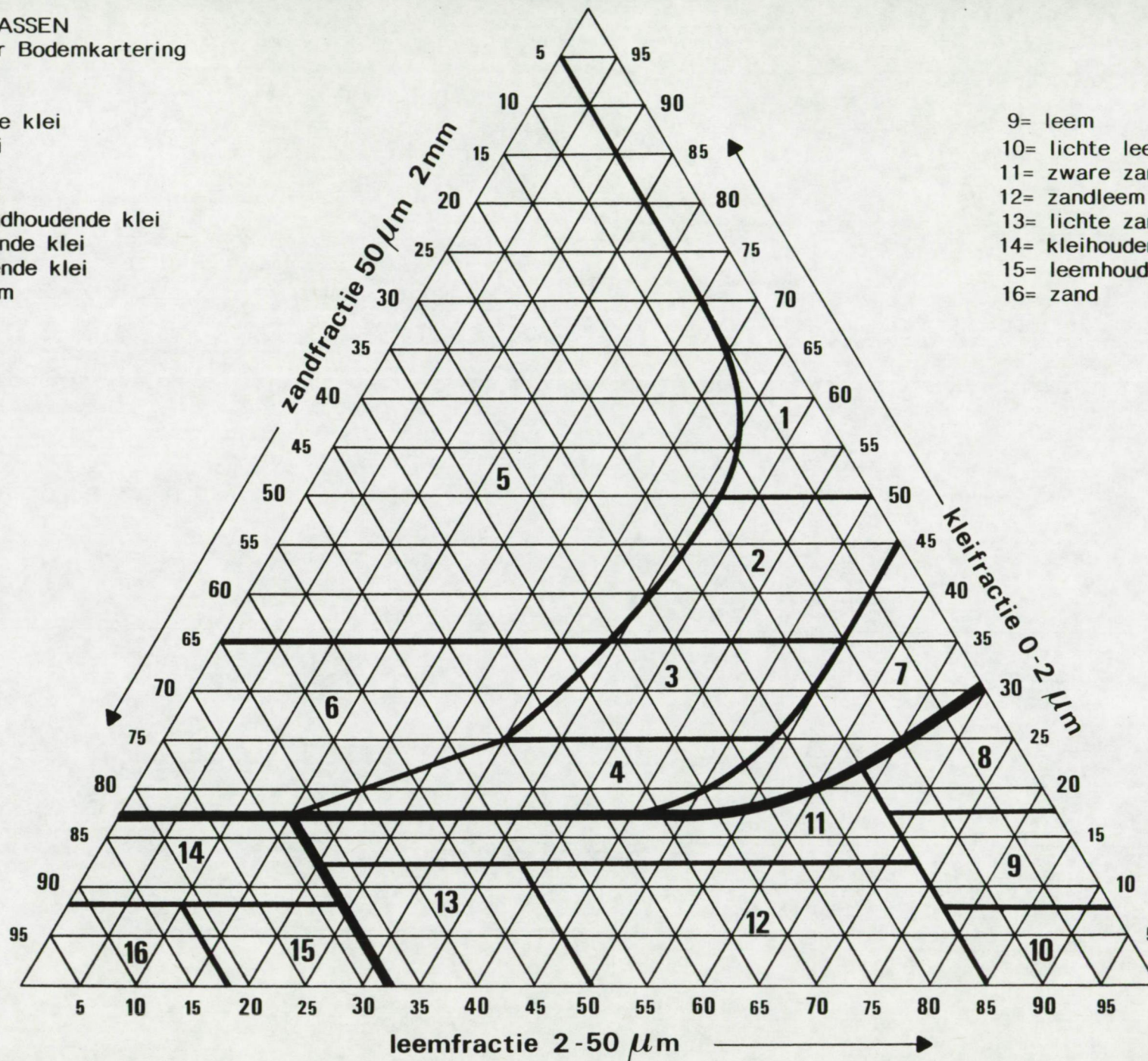


Fig. 2.6. - Benaming en klassifikatie van de grondsoorten (Centrum voor Bodemkartering)

- 1= zeer zware klei
- 2= zware klei
- 3= klei
- 4= lichte klei
- 5= zware zandhoudende klei
- 6= zandhoudende klei
- 7= leemhoudende klei
- 8= zware leem

- 9= leem
- 10= lichte leem
- 11= zware zandleem
- 12= zandleem
- 13= lichte zandleem
- 14= kleihoudend zand
- 15= leemhoudend zand
- 16= zand

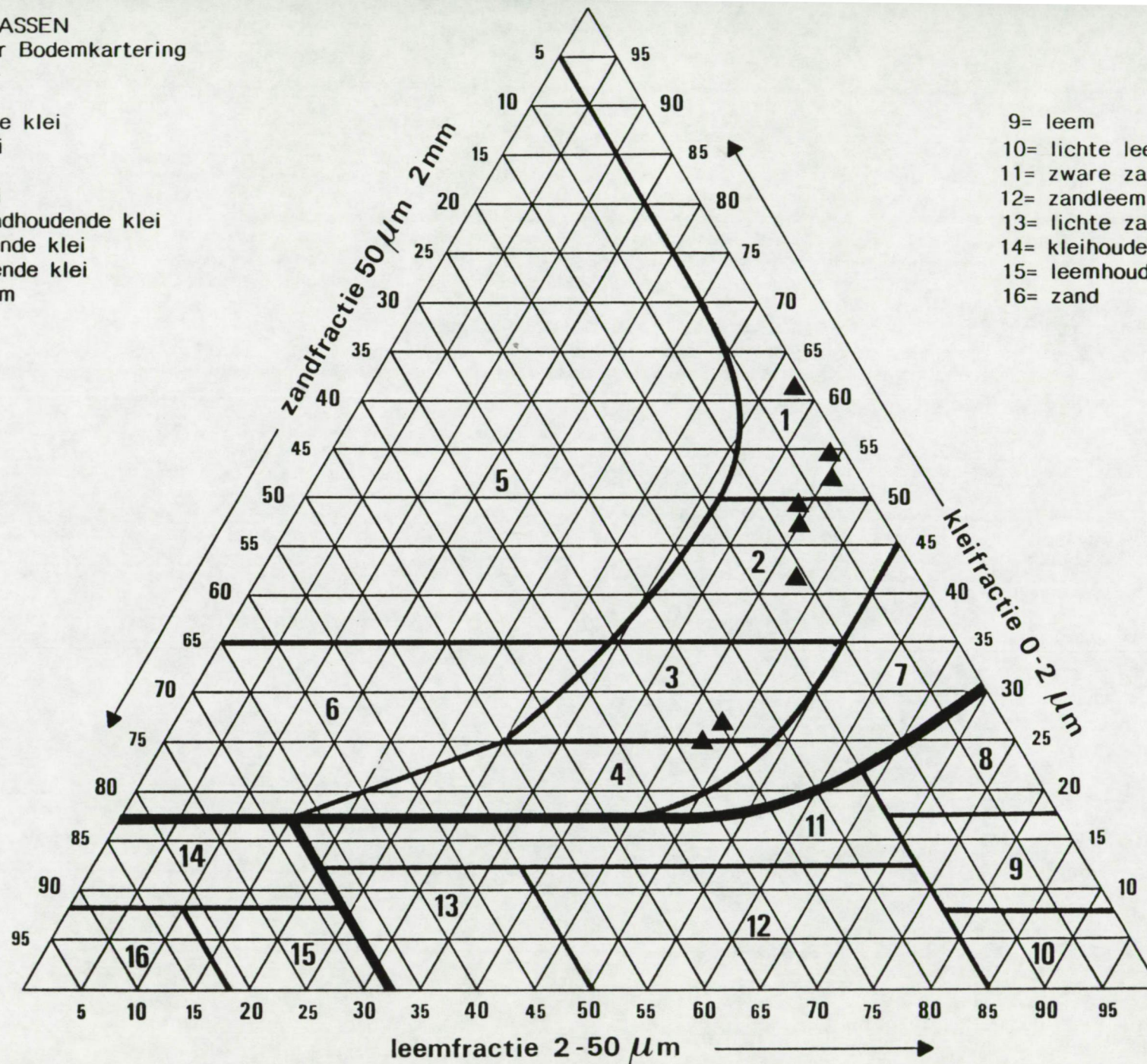


Fig. 2.7. - Klassificatie van de laag K2, facies K2,1.

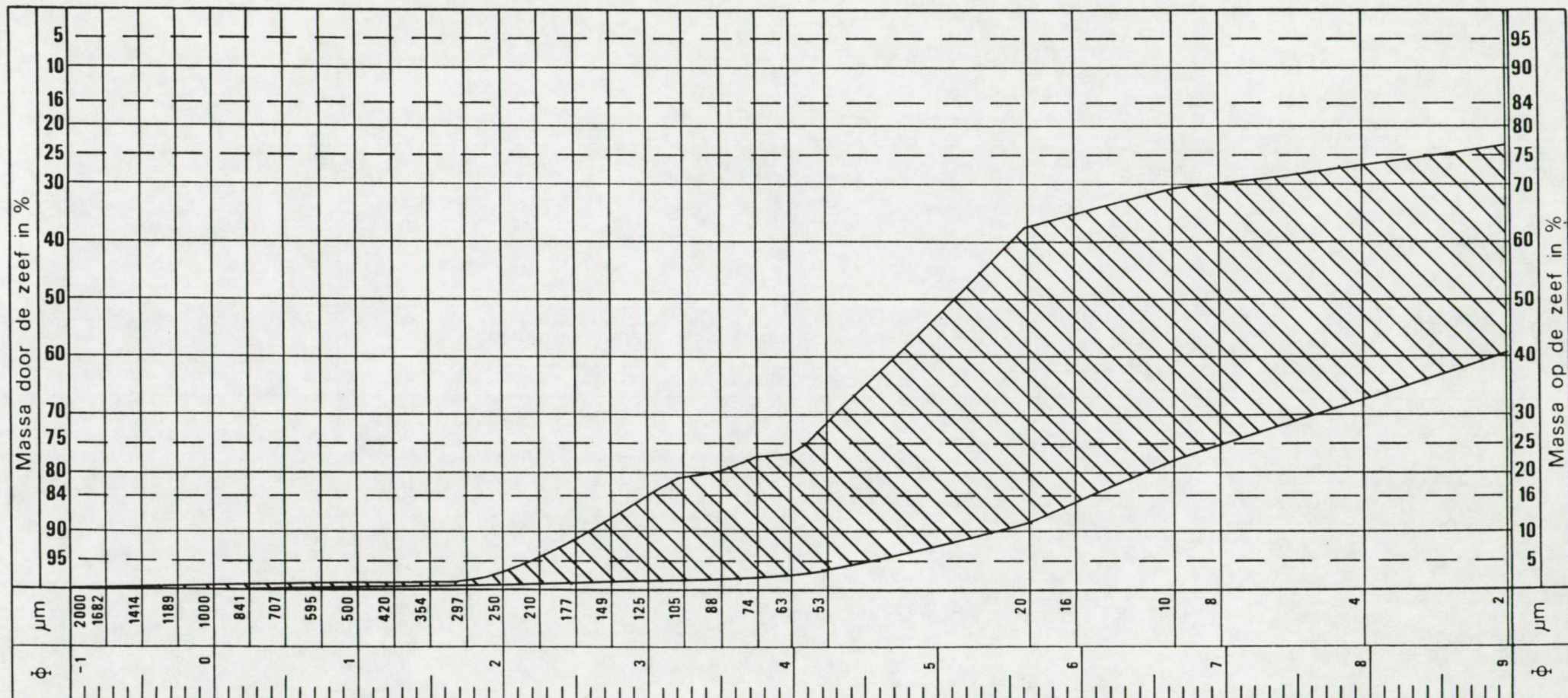


Fig. 2.8. - Korrelverdelingsbundel van de laag K2, faciës K2,1.

- 1= zeer zware klei
- 2= zware klei
- 3= klei
- 4= lichte klei
- 5= zware zandhoudende klei
- 6= zandhoudende klei
- 7= leemhoudende klei
- 8= zware leem

- 9= leem
- 10= lichte leem
- 11= zware zandleem
- 12= zandleem
- 13= lichte zandleem
- 14= kleihoudend zand
- 15= leemhoudend zand
- 16= zand

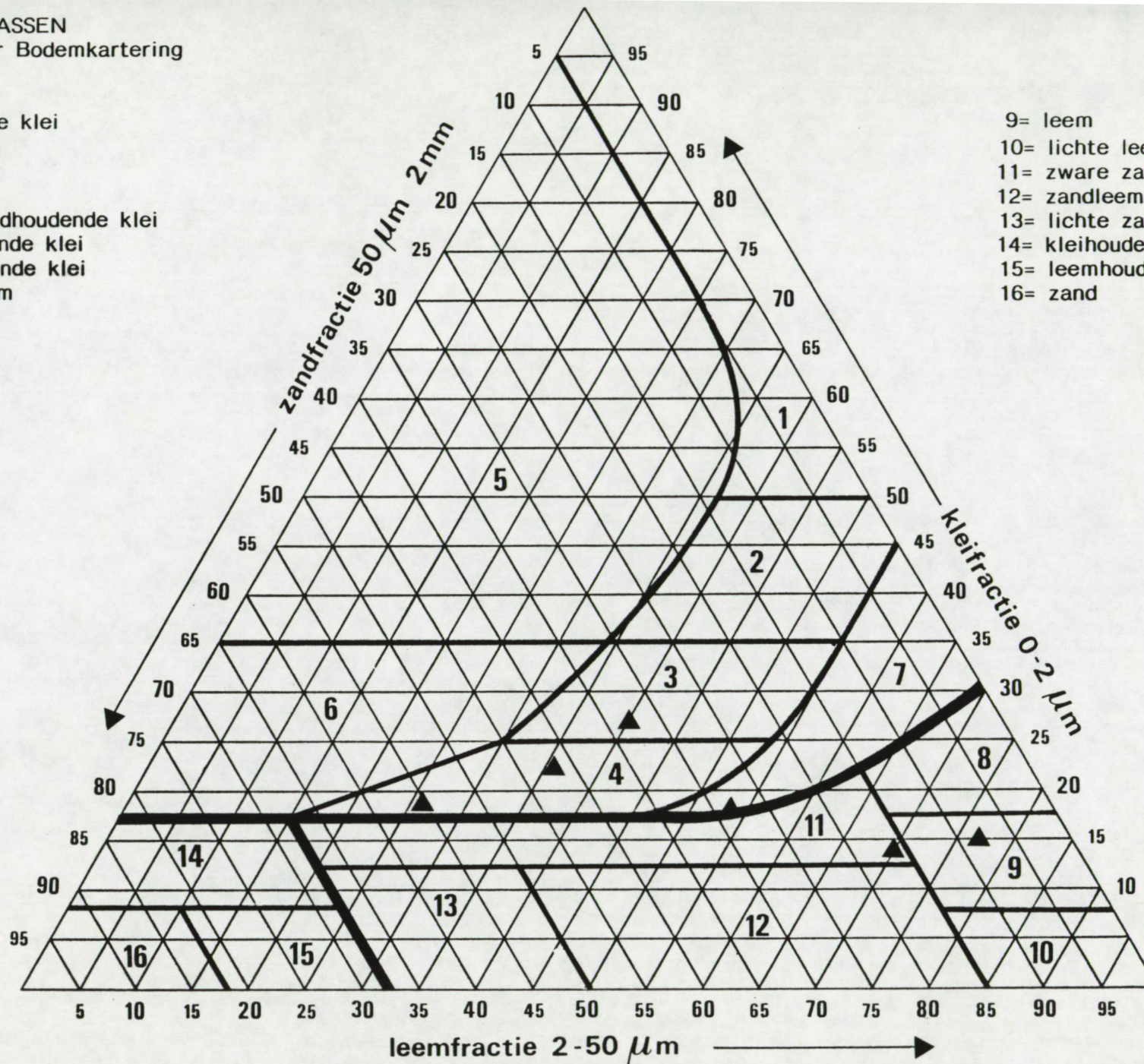


Fig. 2.9. - Klassificatie van de laag K2, facies K2,2.

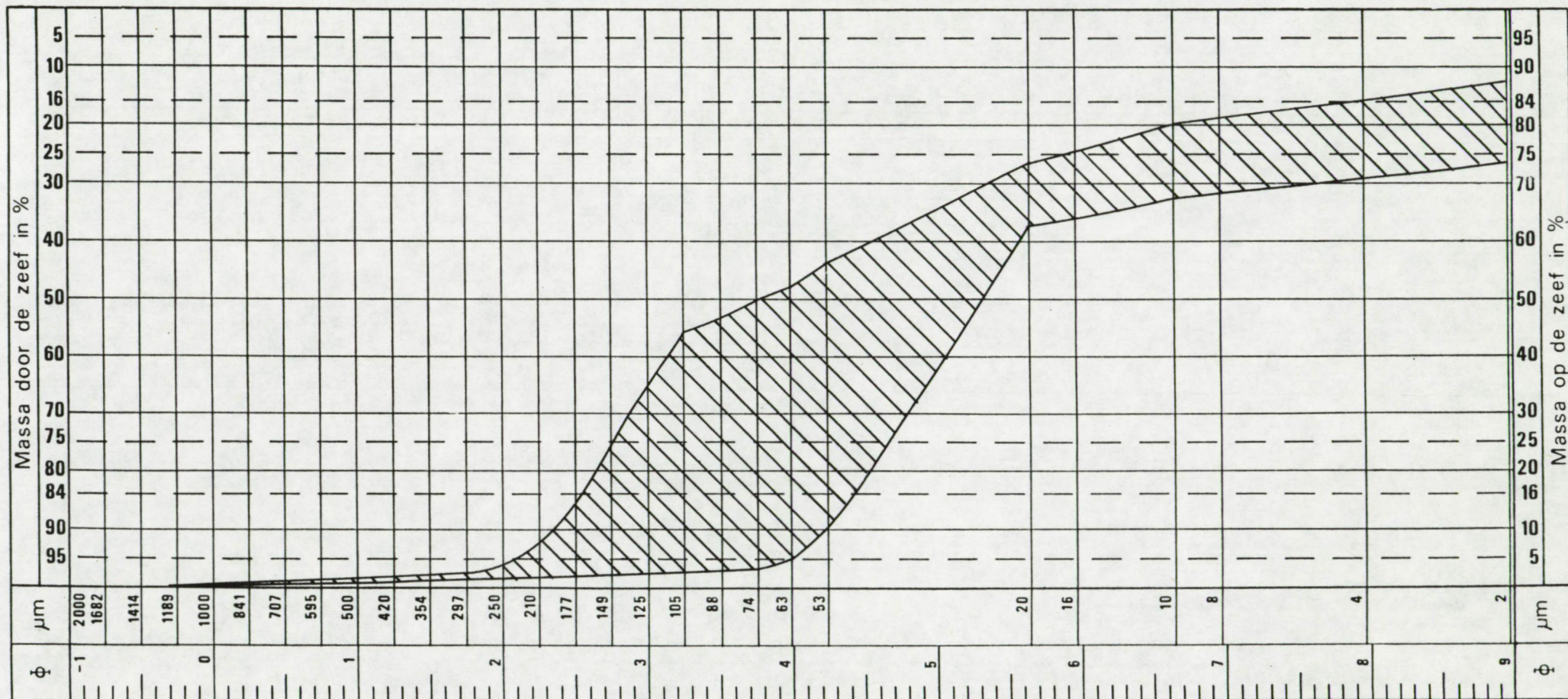


Fig. 2.10. - Korrelverdelingsbundel van de laag K2, faciës K2,2.

1= zeer zware klei

2= zware klei

3= klei

4= lichte klei

5= zware zandhoudende klei

6= zandhoudende klei

7= leemhoudende klei

8= zware leem

9= leem

10= lichte leem

11= zware zandleem

12= zandleem

13= lichte zandleem

14= kleihoudend zand

15= leemhoudend zand

16= zand

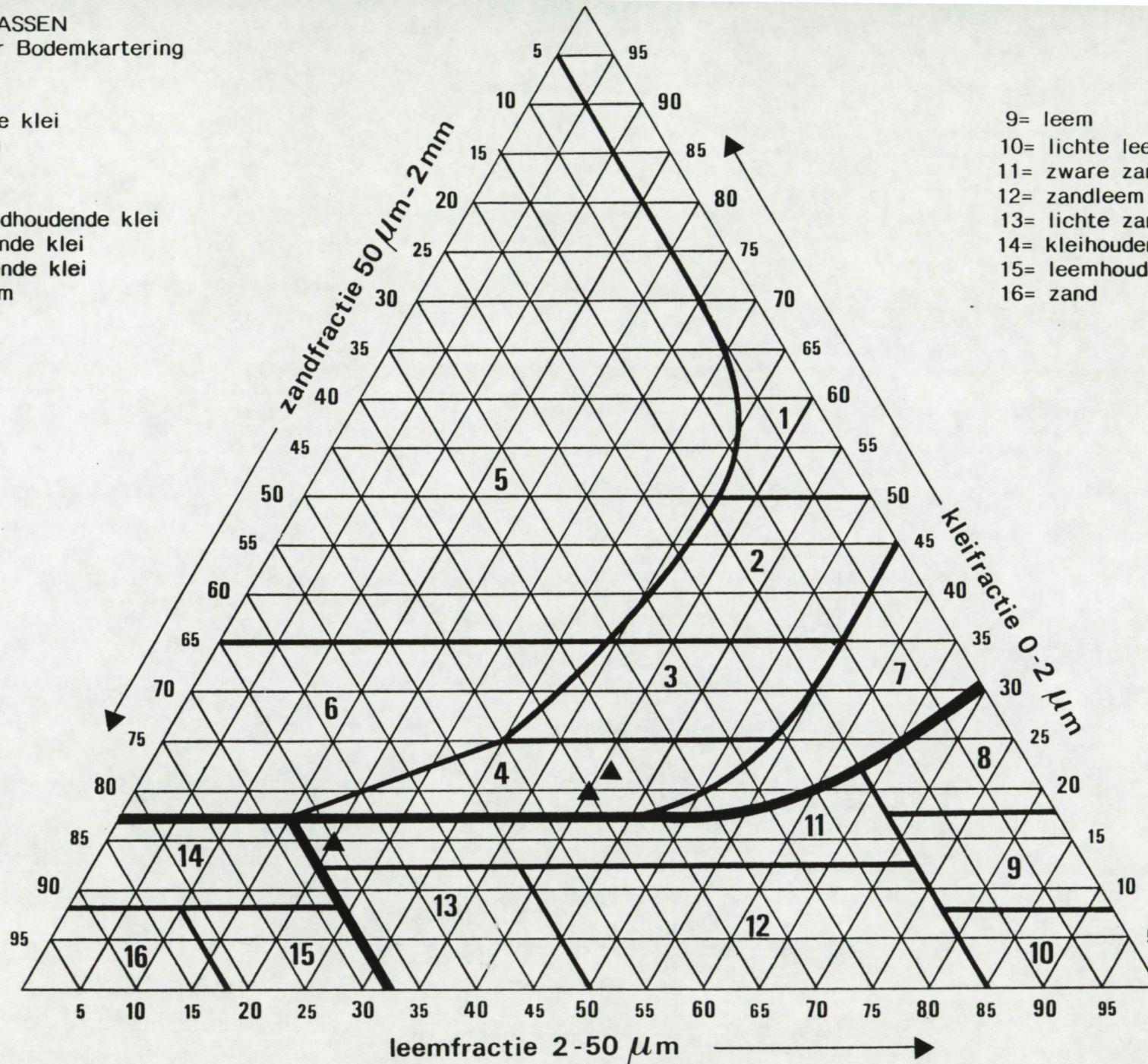


Fig. 2.11. - Klassificatie van de laag K3.

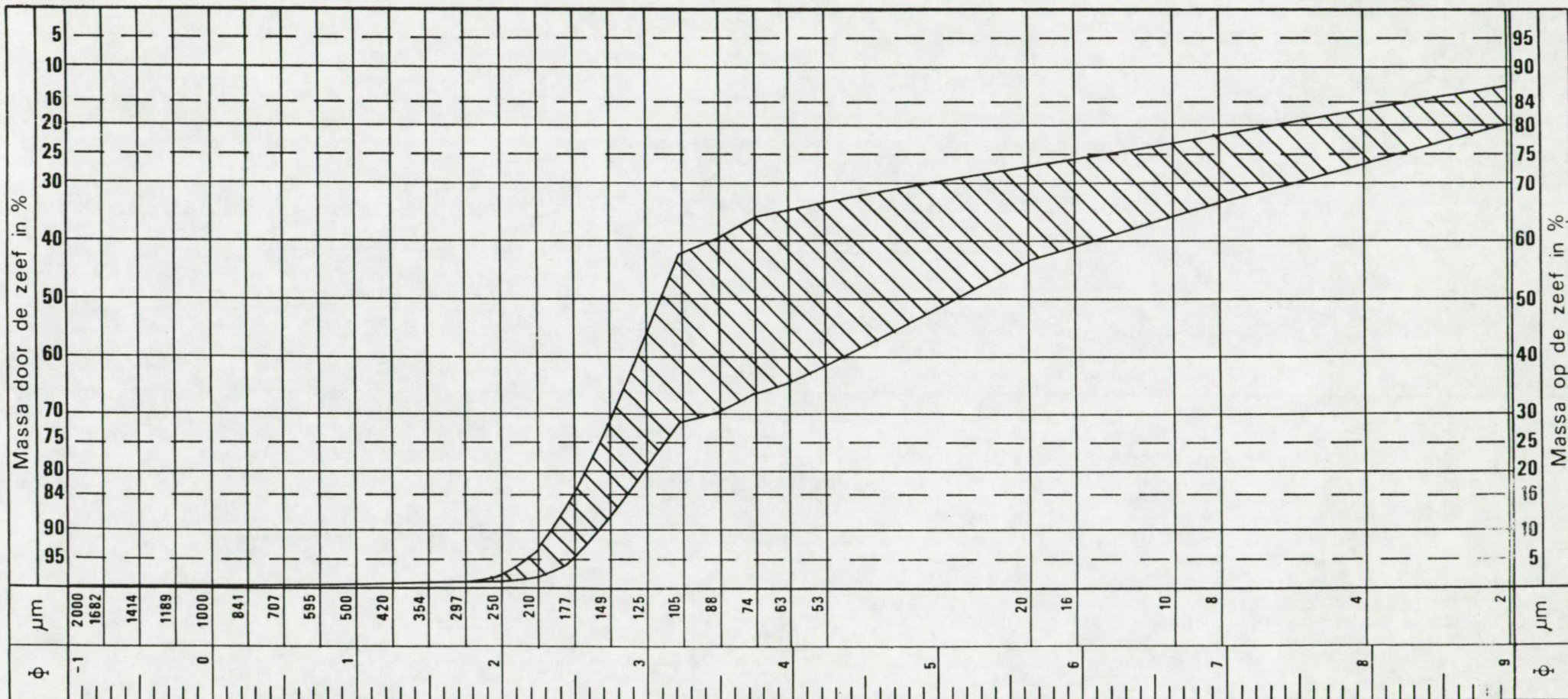


Fig. 2.12. - Korrelverdelingsbundel van de laag K3.

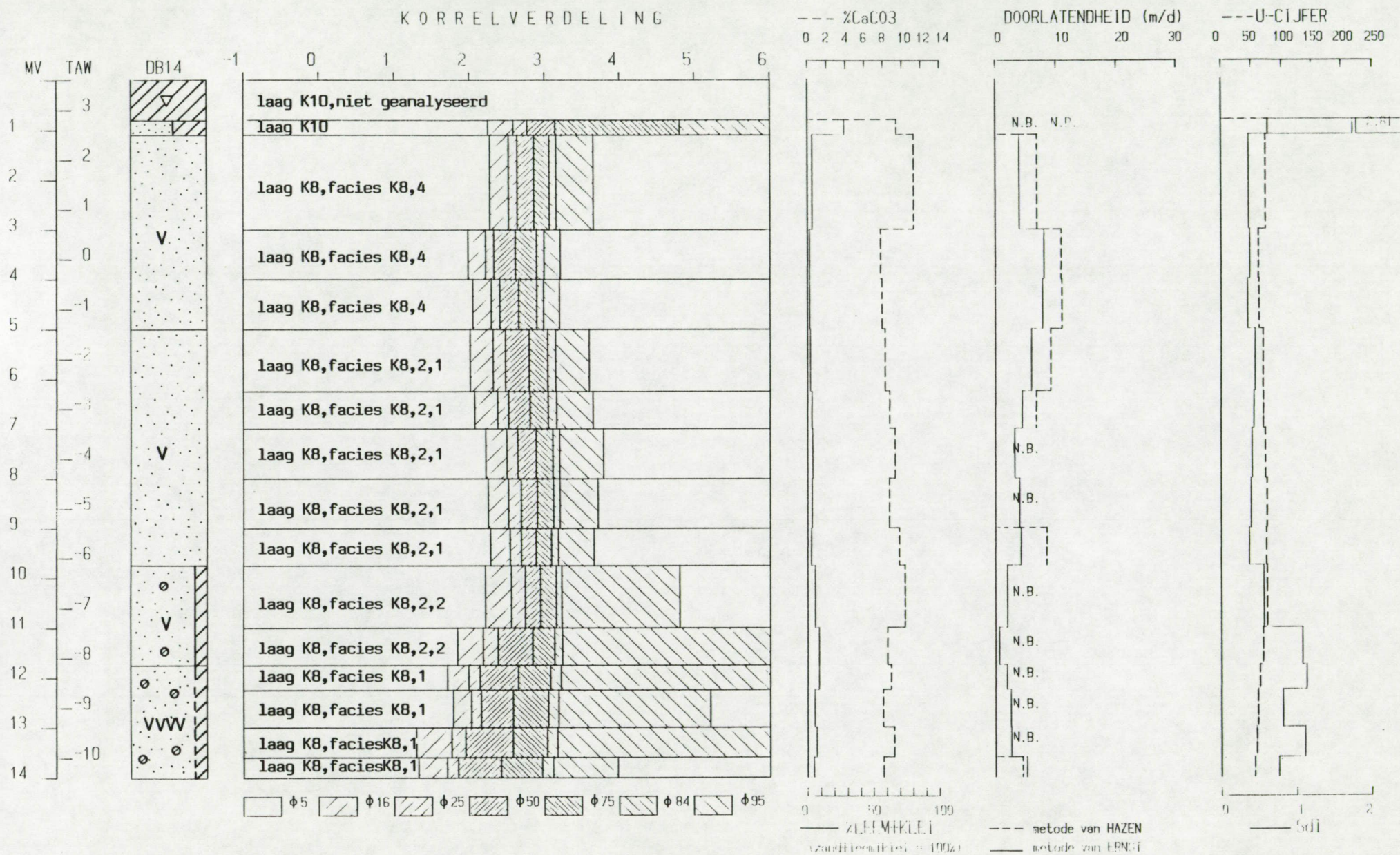


Fig. 2.14. - Hydrolitologisch profiel van de boring DB14.

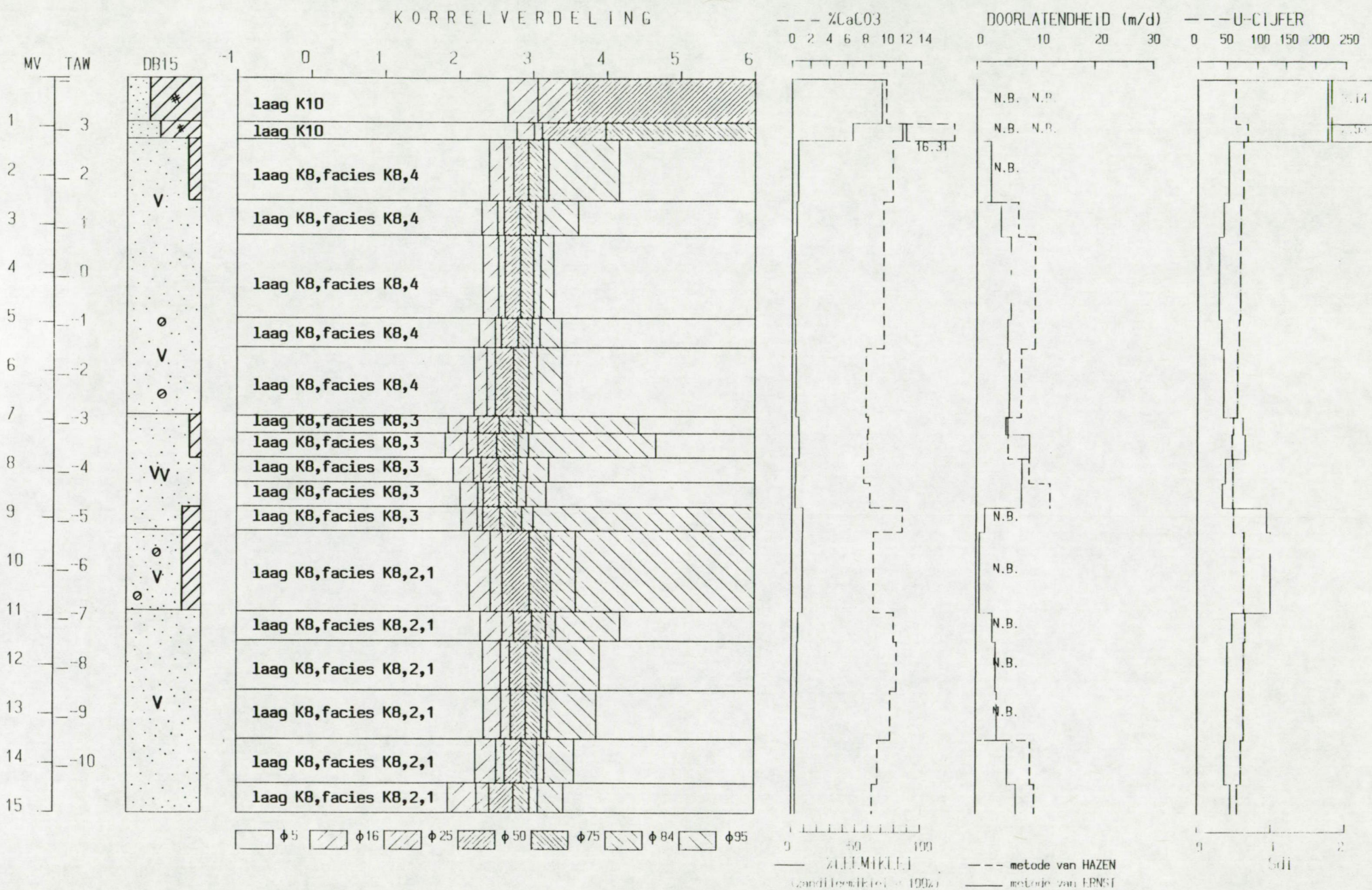


Fig. 2.15. - Hydrolitologisch profiel van de boring DB15.

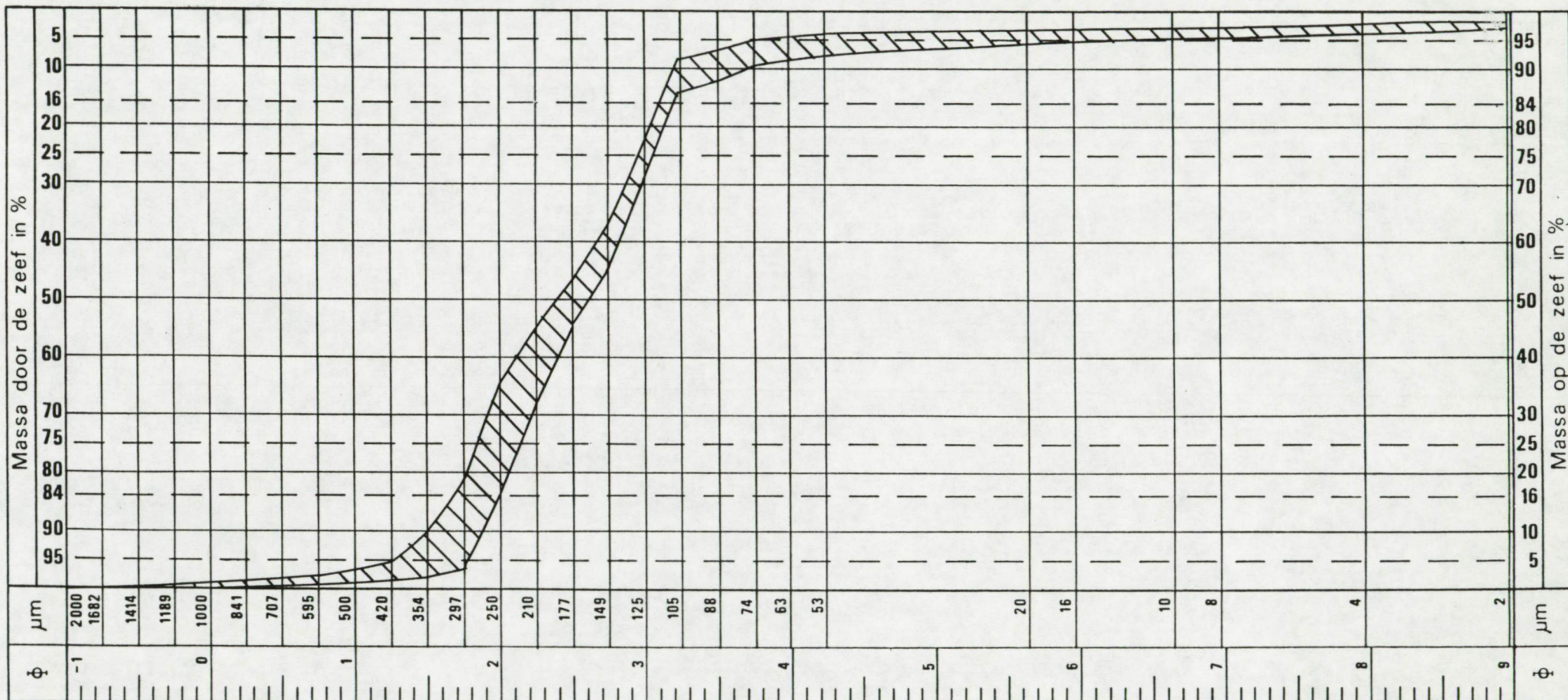


Fig. 2.17. - Korrelverdelingsbundel van de laag K8, faciës K8,1 (Avekapellekreek).

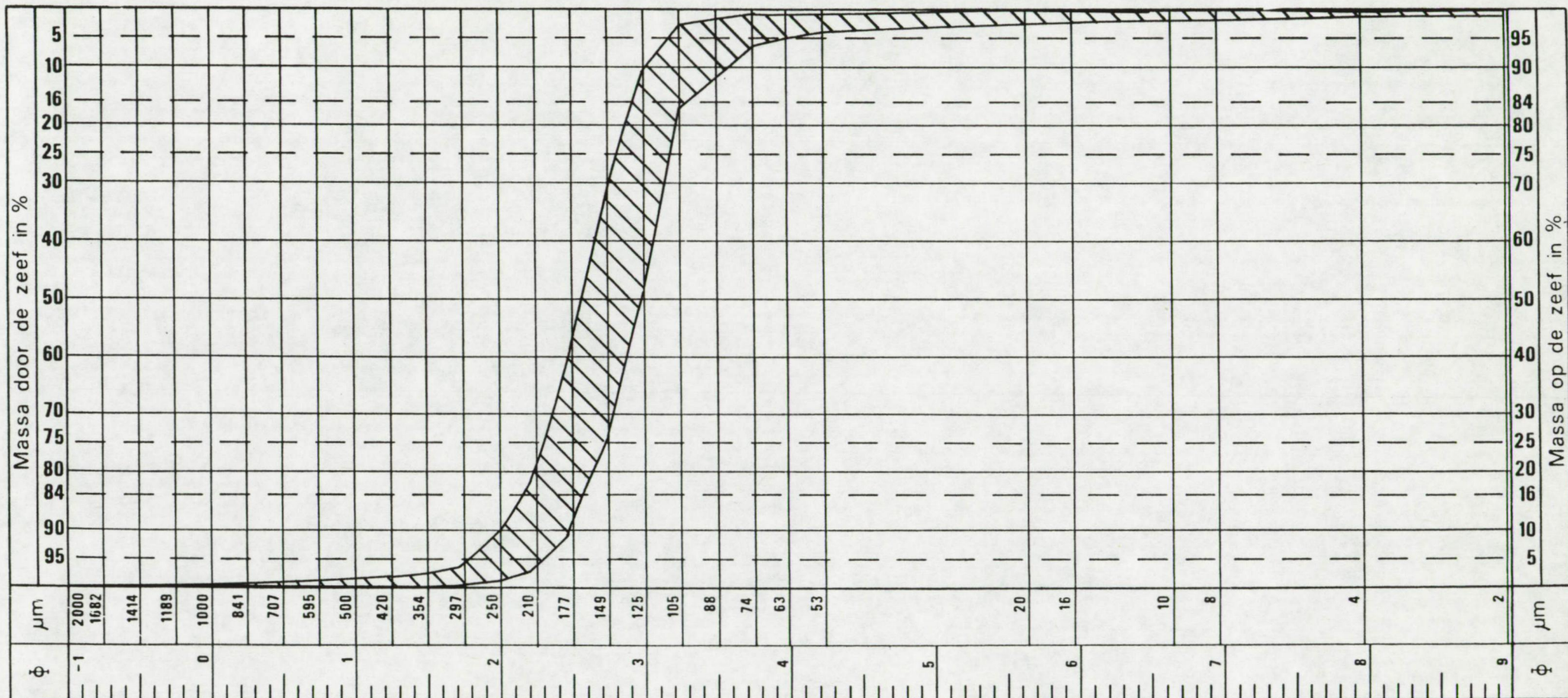


Fig. 2.18. - Korrelverdelingsbundel van de laag K8, faciës K8,2,1 (Avekapellekreek).

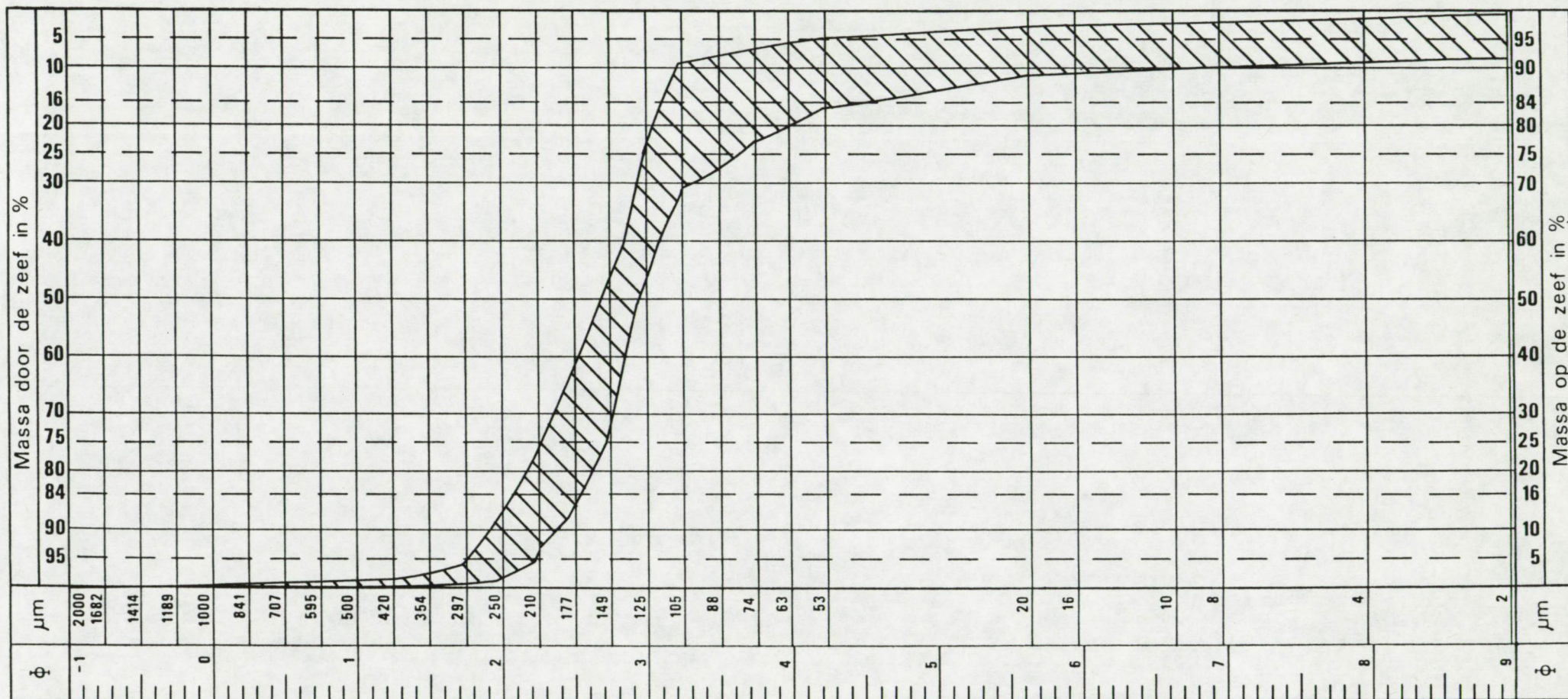


Fig. 2.19. - Korrelverdelingsbundel van de laag K8, faciës K8,2,2 (Avekapellekreek).

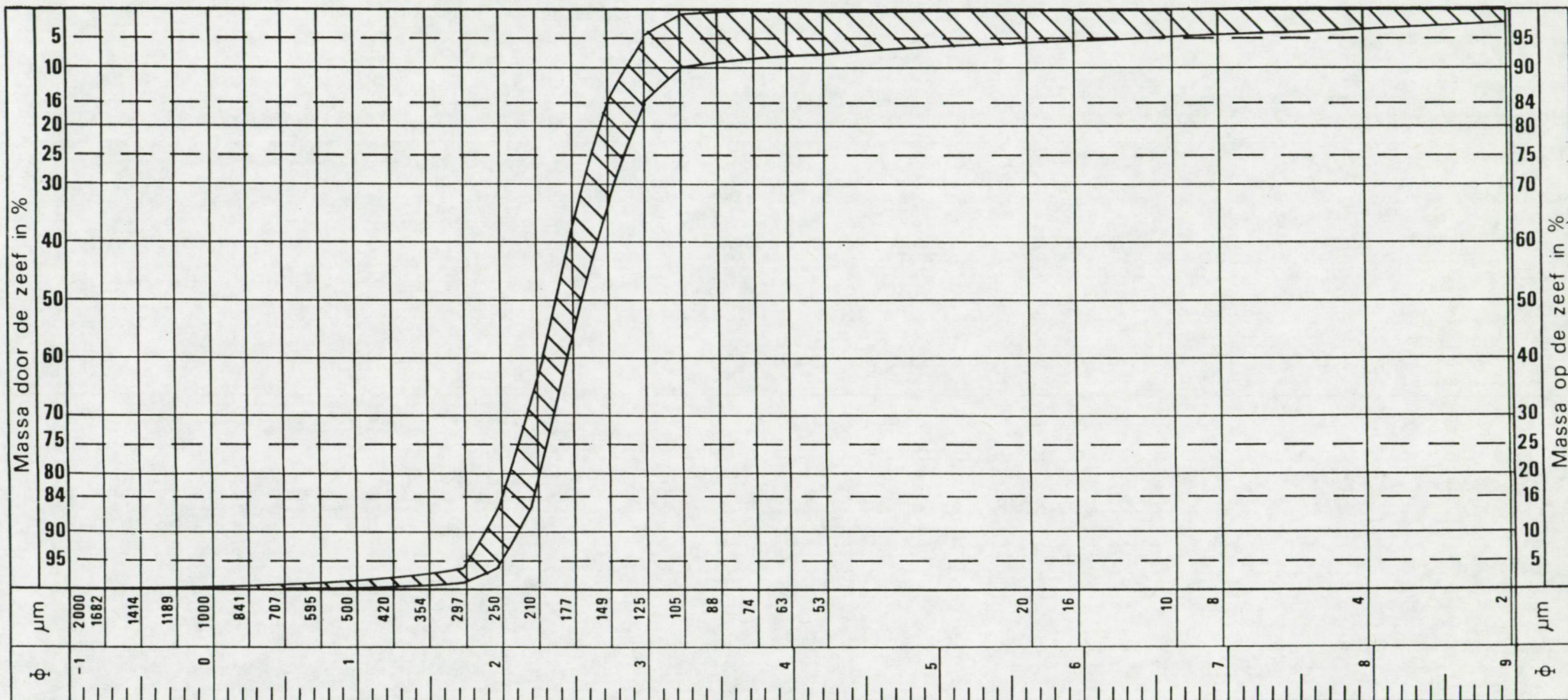


Fig. 2.20. - Korrelverdelingsbundel van de laag K8, faciës K8,3 (Avekapellekreek).

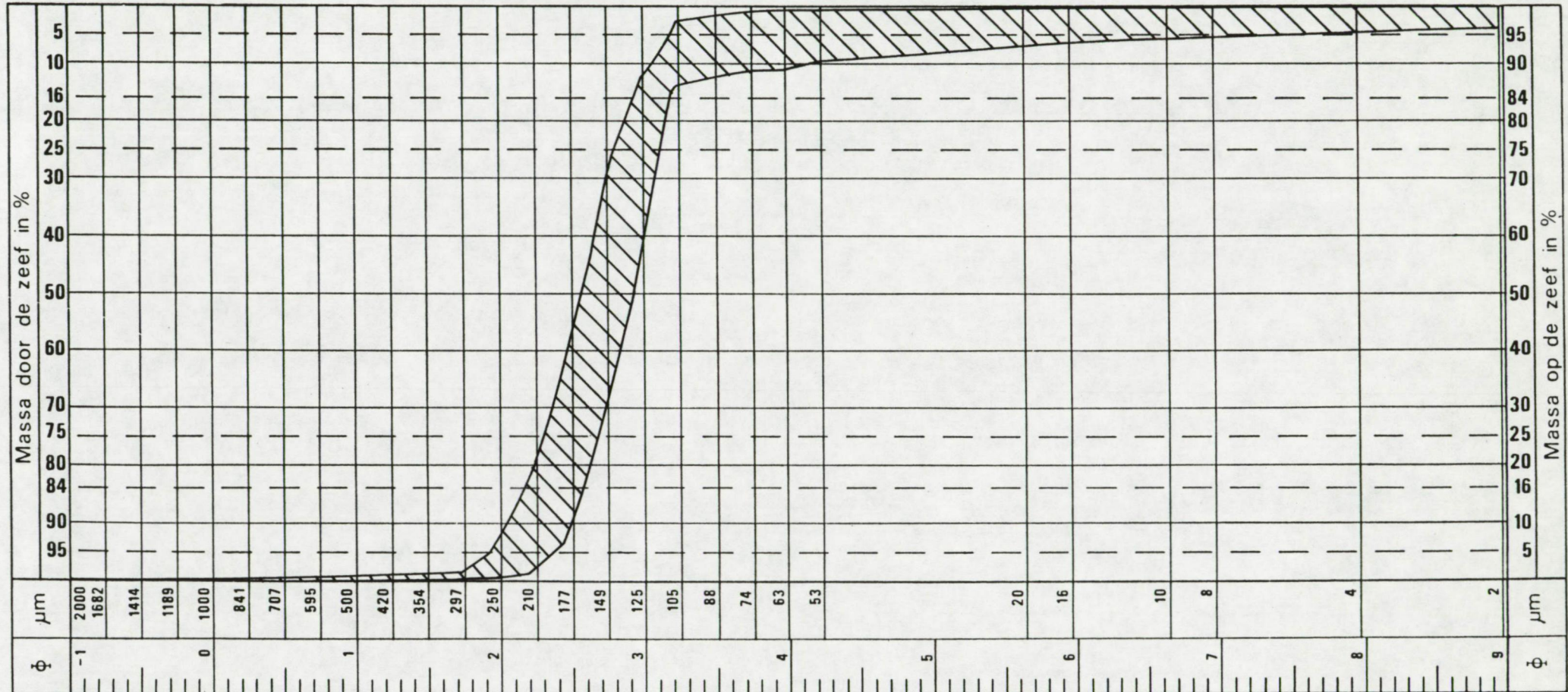


Fig. 2.21. - Korrelverdelingsbundel van de laag K8, faciës K8,4 (Avekapellekreek).

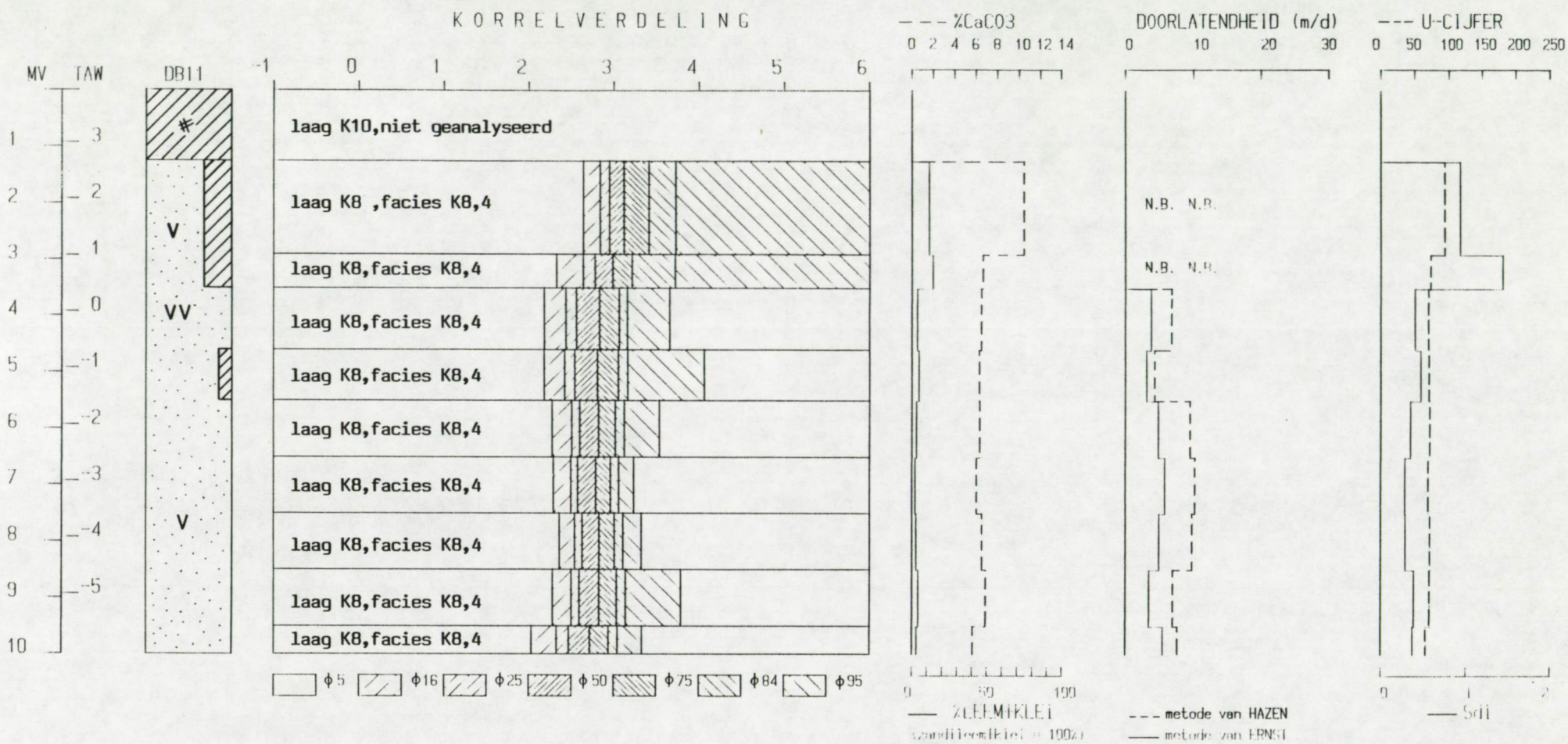


Fig. 2.22. - Hydrolitologisch profiel van de boring DB11.

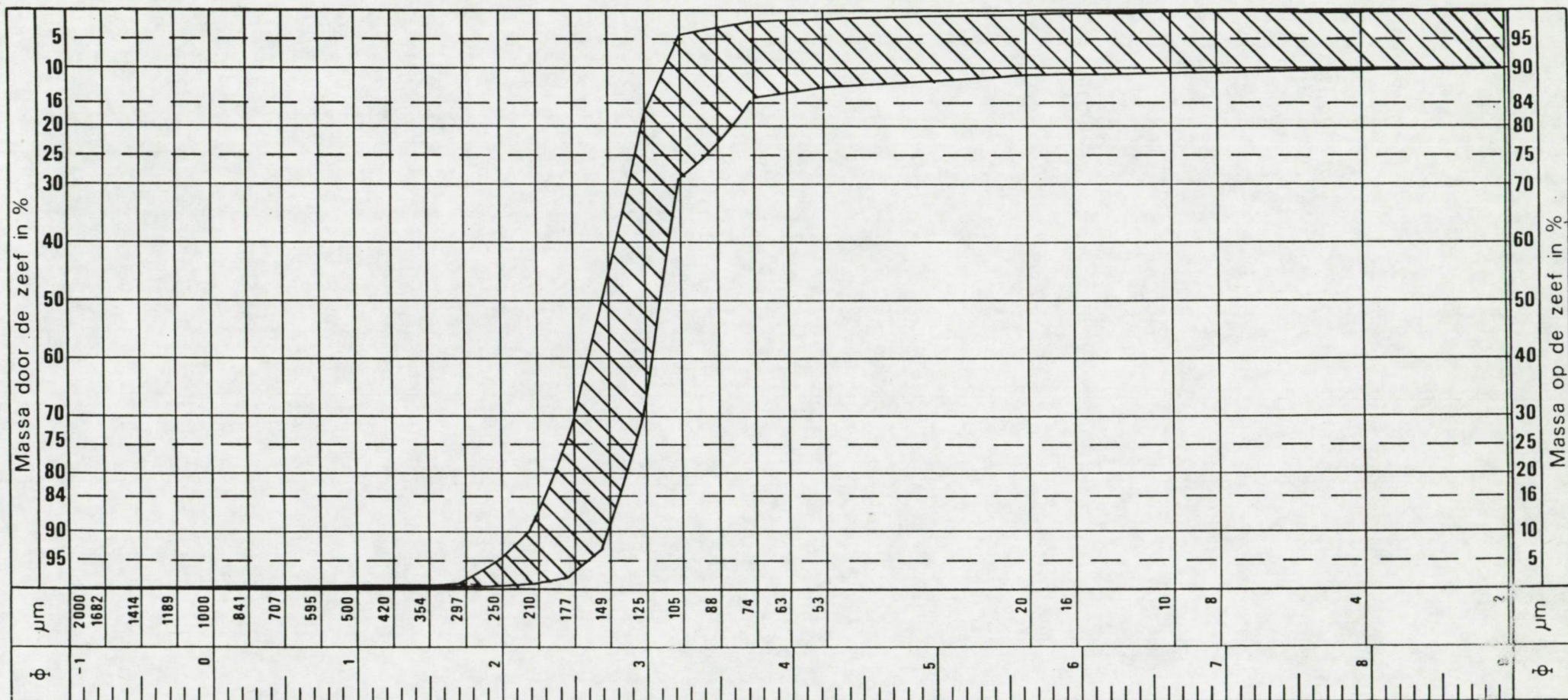


Fig. 2.23. - Korrelverdelingsbundel van de laag K8 te Nieuwkapelle (IJzerkreek).

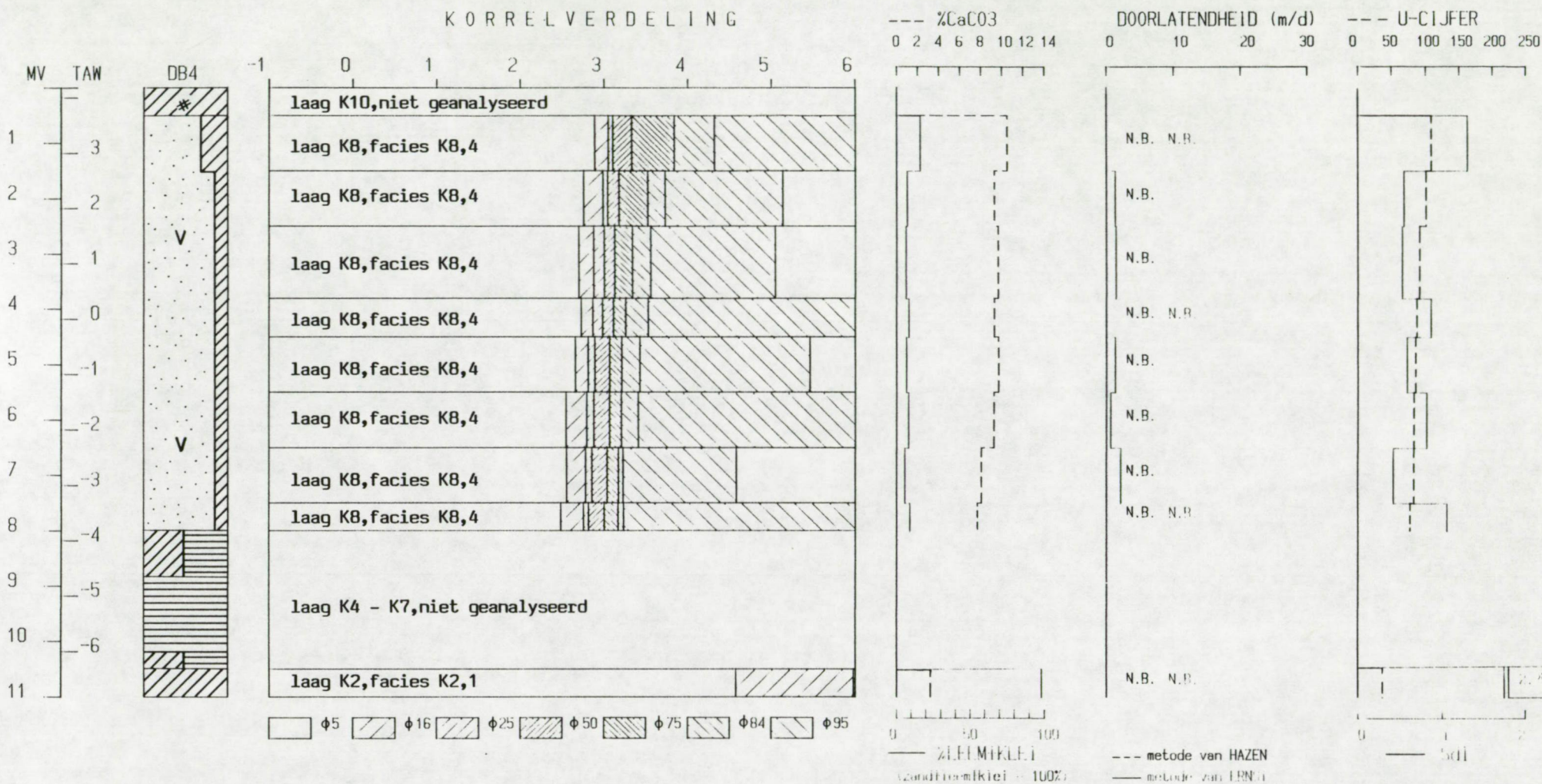


Fig. 2.24. - Hydrolitologisch profiel van de boring DB4.

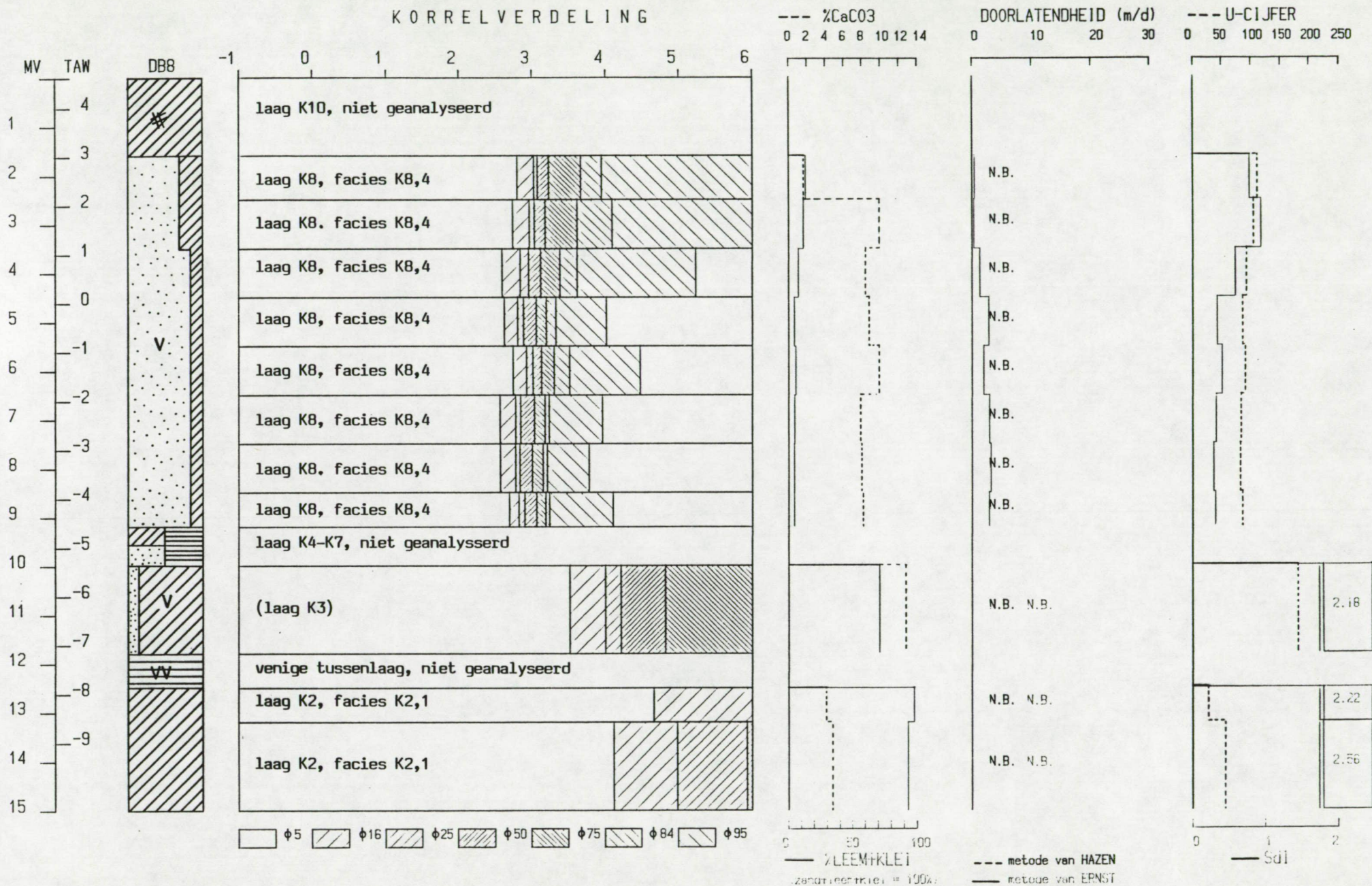


Fig. 2.25. - Hydrolitologisch profiel van de boring DB8

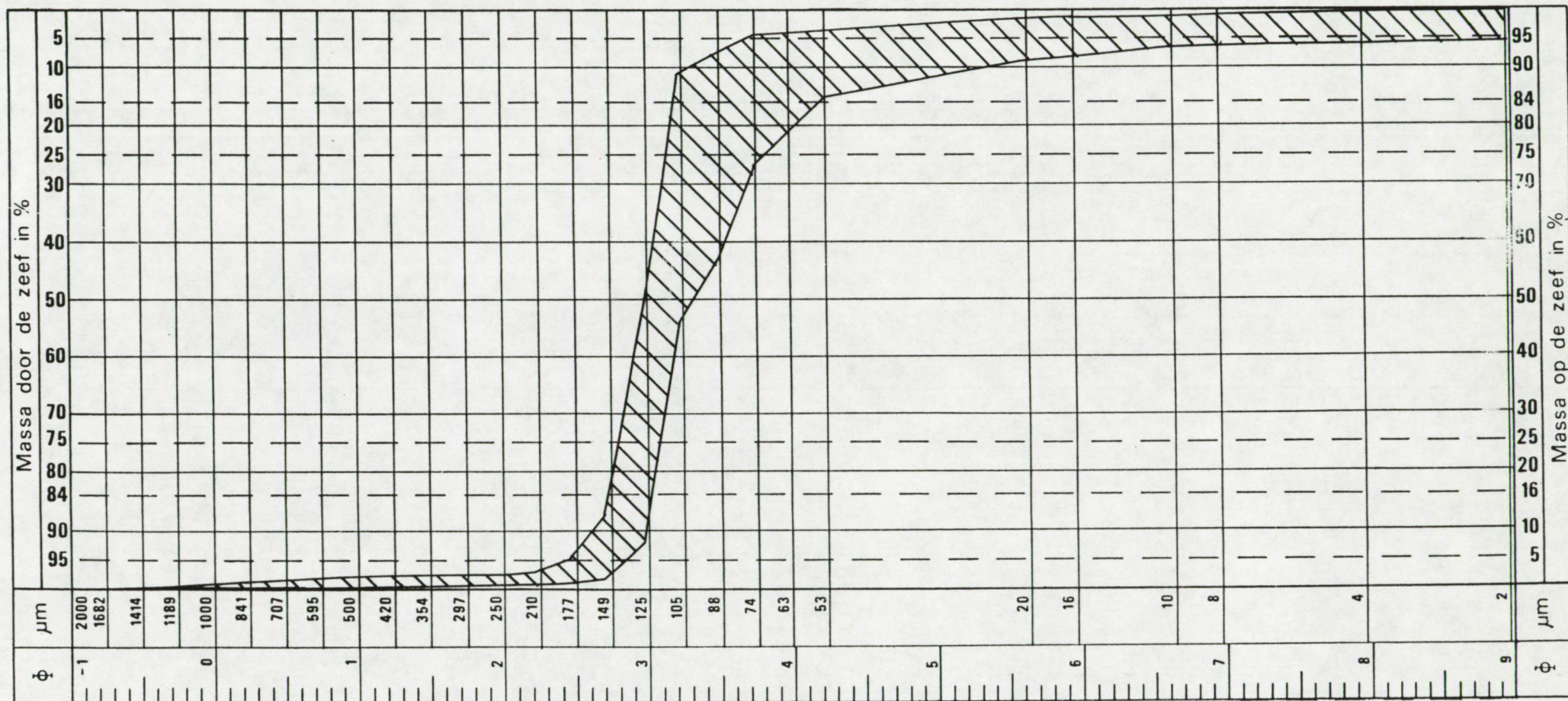


Fig. 2.26. - Korrelverdelingsbundel van de laag K8 in de IJzerkreek stroomopwaarts van Pollinkhove.

- 1= zeer zware klei
- 2= zware klei
- 3= klei
- 4= lichte klei
- 5= zware zandhoudende klei
- 6= zandhoudende klei
- 7= leemhoudende klei
- 8= zware leem

- 9= leem
- 10= lichte leem
- 11= zware zandleem
- 12= zandleem
- 13= lichte zandleem
- 14= kleihoudend zand
- 15= leemhoudend zand
- 16= zand

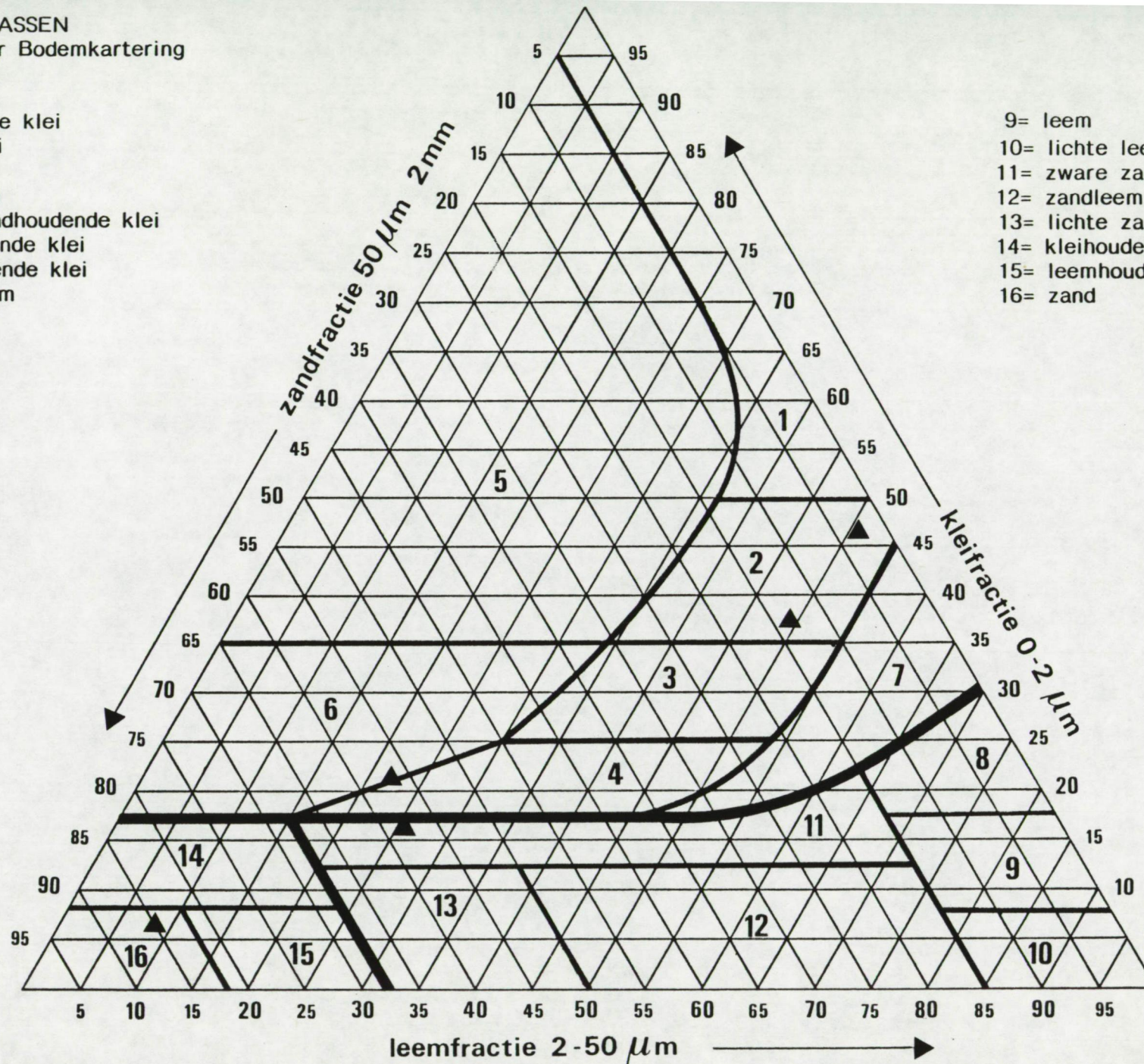
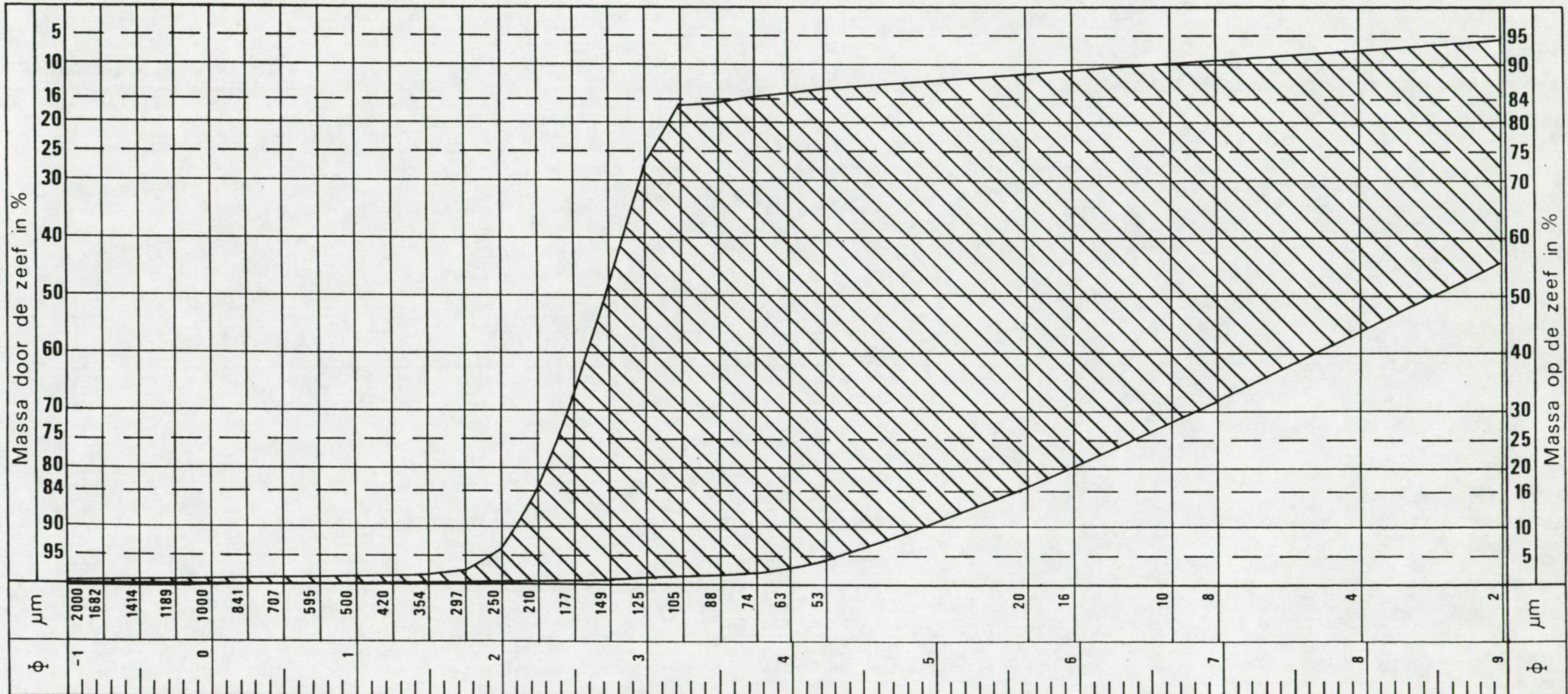


Fig. 2.27. - Klassificatie van de laag K9.

L T G

korrelverdeling
nr. :



- 1= zeer zware klei
- 2= zware klei
- 3= klei
- 4= lichte klei
- 5= zware zandhoudende klei
- 6= zandhoudende klei
- 7= leemhoudende klei
- 8= zware leem

- 9= leem
- 10= lichte leem
- 11= zware zandleem
- 12= zandleem
- 13= lichte zandleem
- 14= kleihoudend zand
- 15= leemhoudend zand
- 16= zand

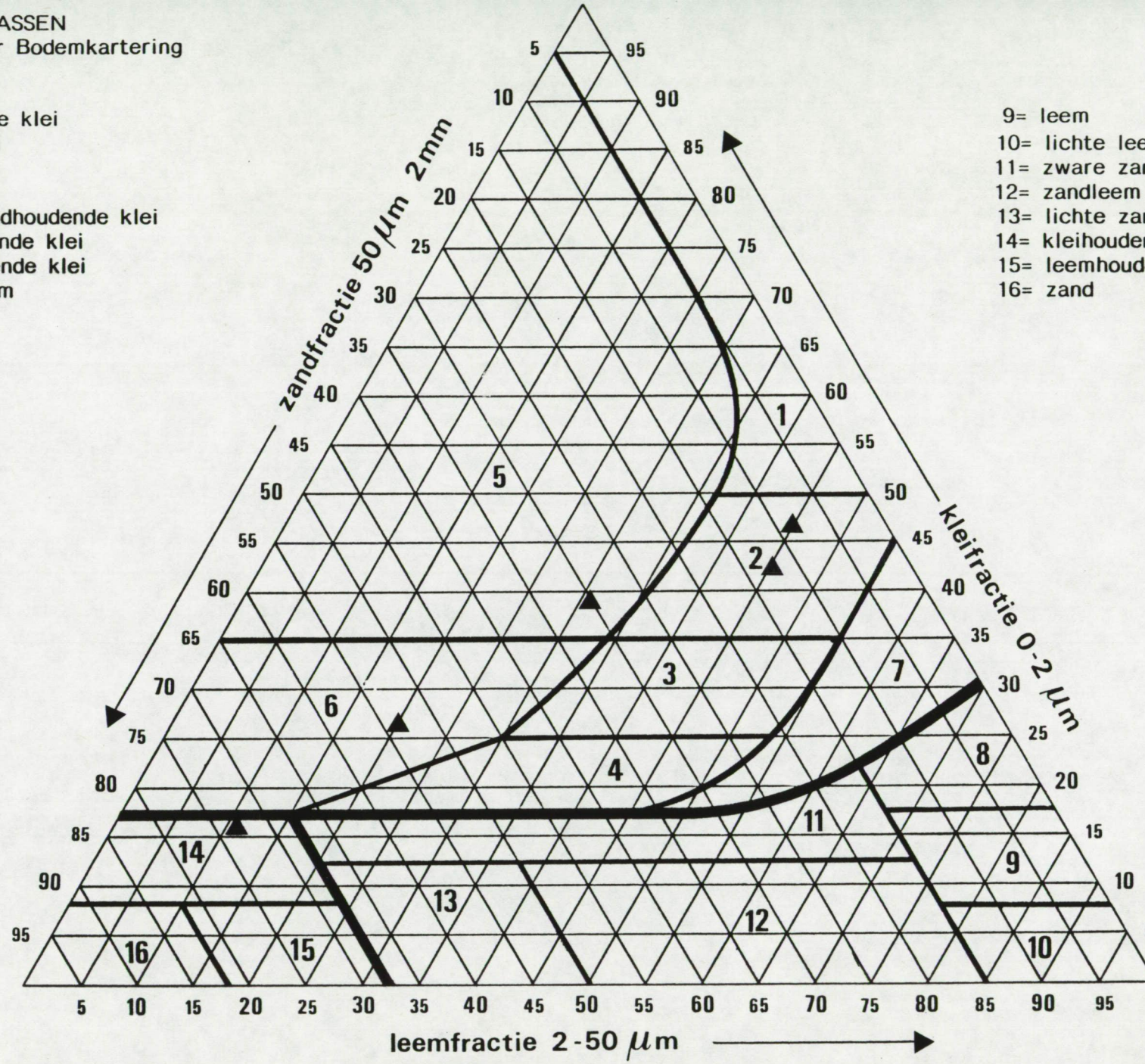


Fig. 2.29. - Klassificatie van de laag K10.

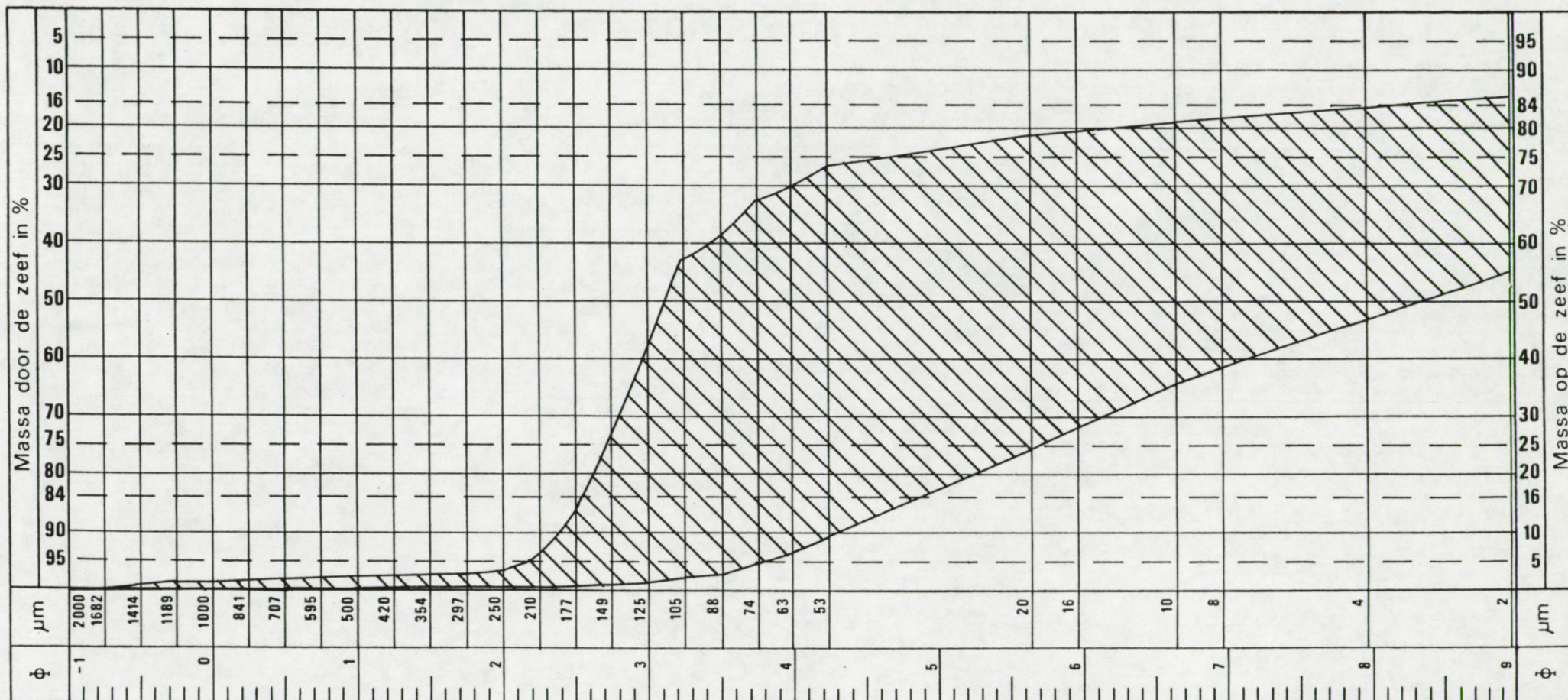


Fig. 2.30. - Korrelverdelingsbundel van de laag K10.

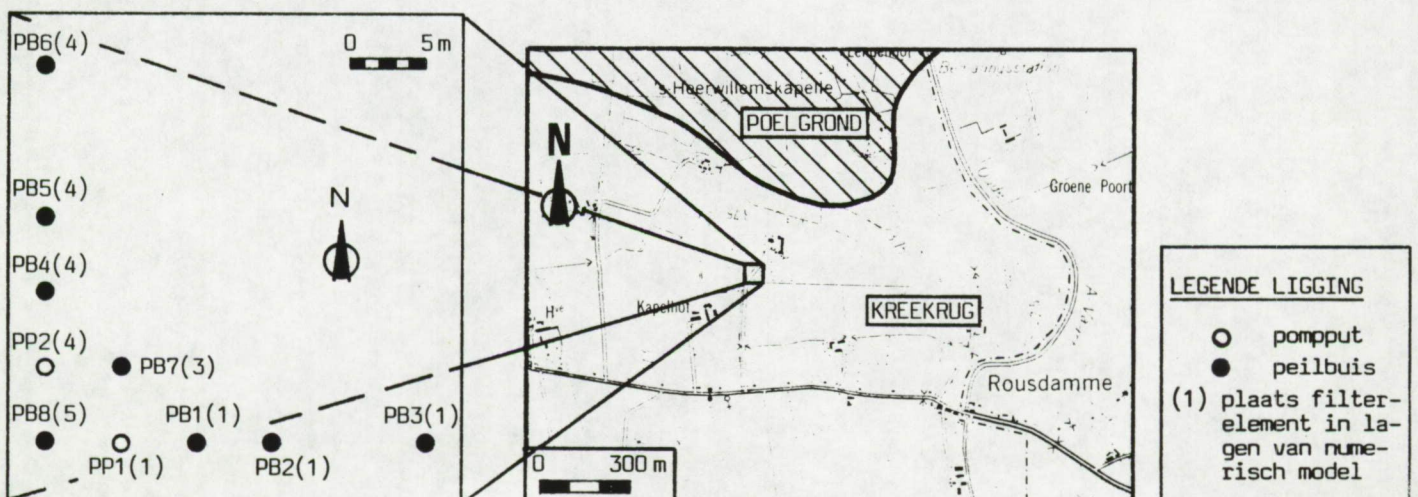
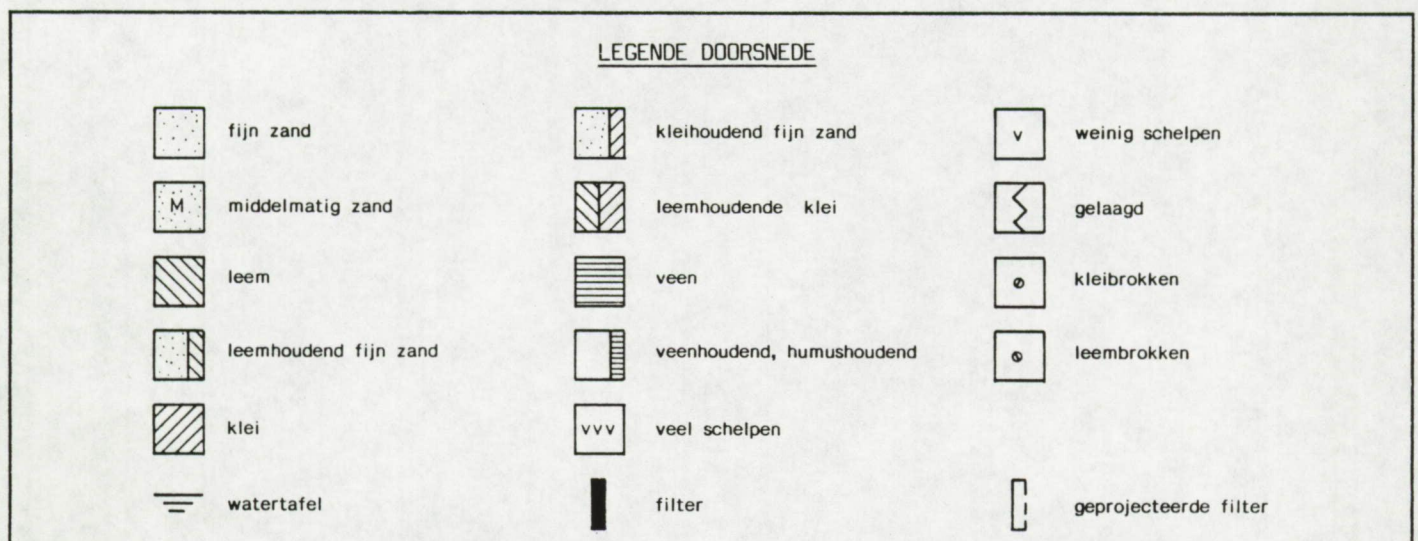
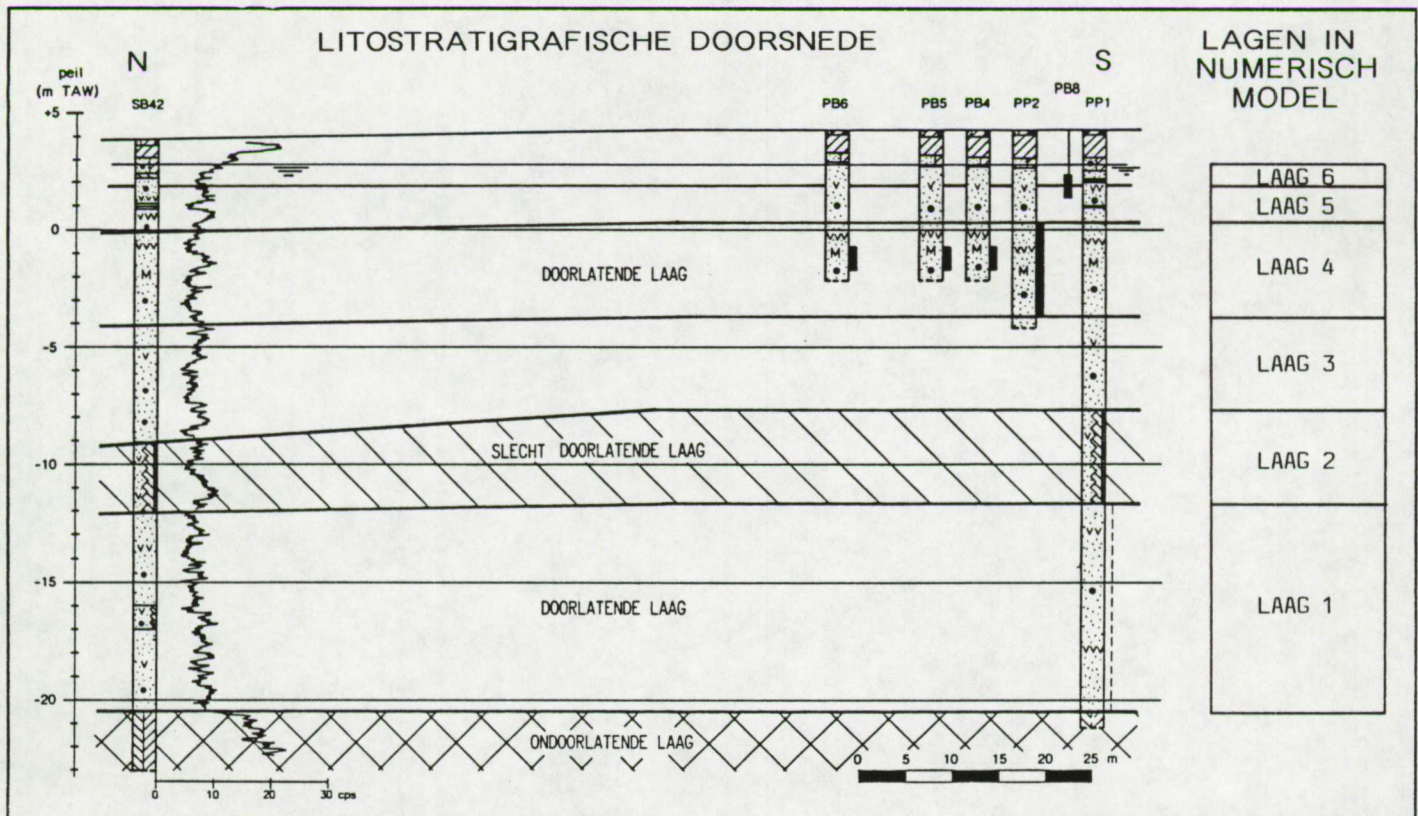
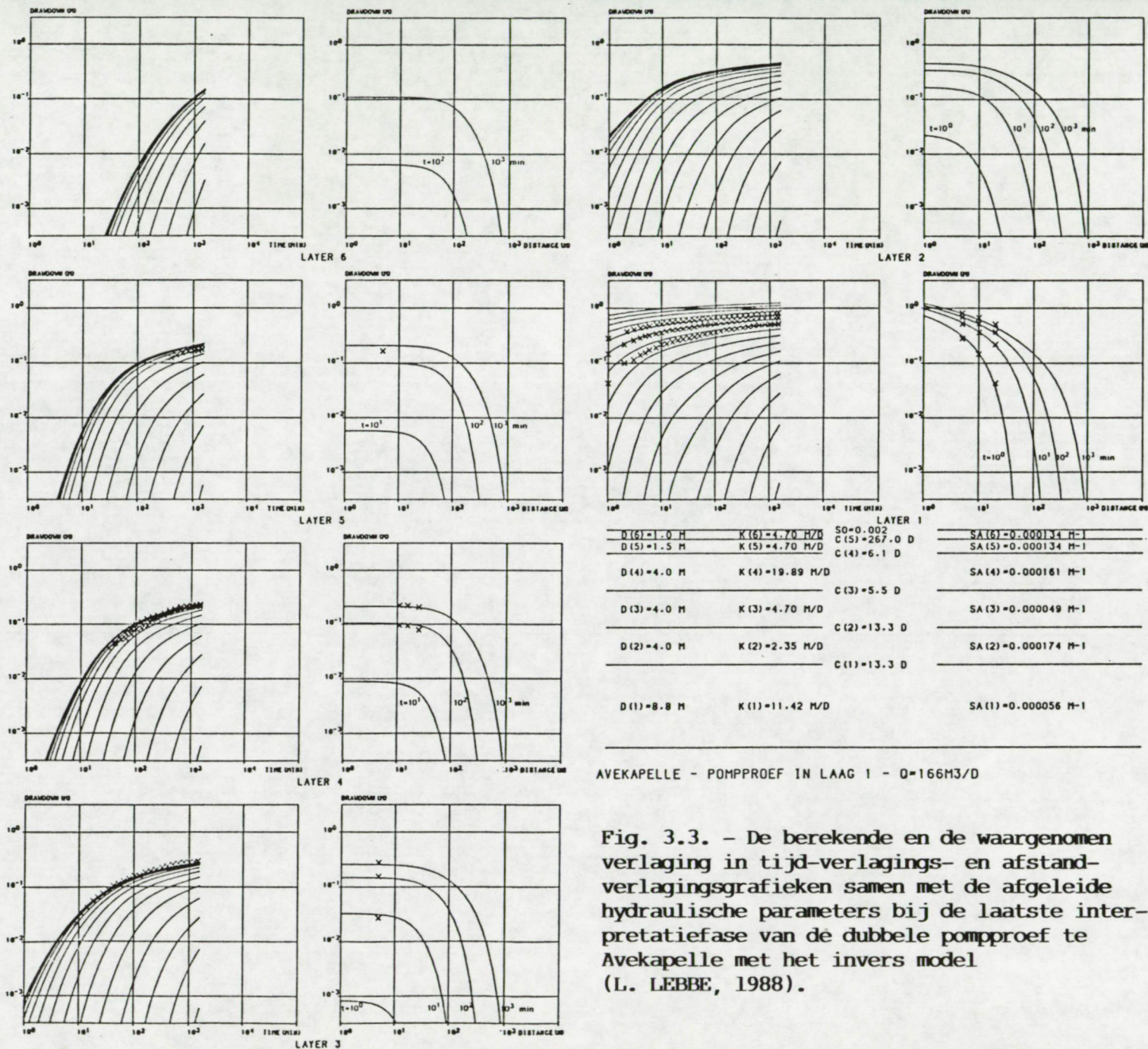
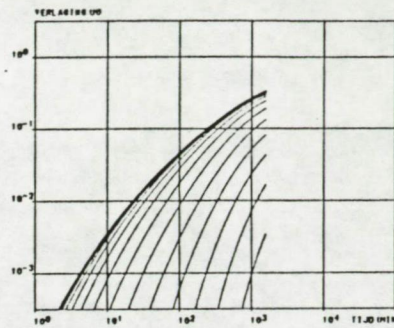


Fig. 3.1. - Litostratigrafische doorsnede en ligging van de filters van de pompputten en peilbuizen bij de dubbele pompproef te Avekapelle en de schematisatie van het grondwaterreservoir in het numeriek model

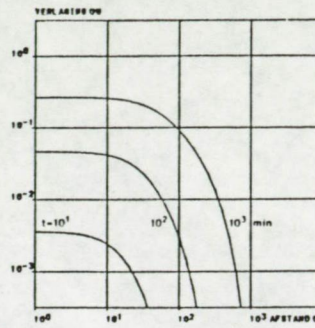


AVEKAPELLE - POMPPROEF IN LAAG 1 - $Q=166\text{M}^3/\text{D}$

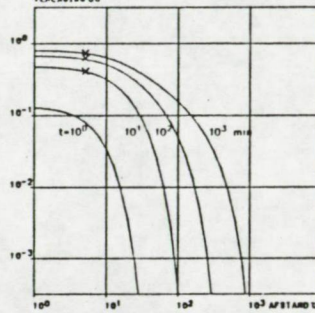
Fig. 3.3. - De berekende en de waargenomen verlaging in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken samen met de afgeleide hydraulische parameters bij de laatste interpretatiefase van de dubbele pompproef te Avekapelle met het invers model (L. LEBBE, 1988).



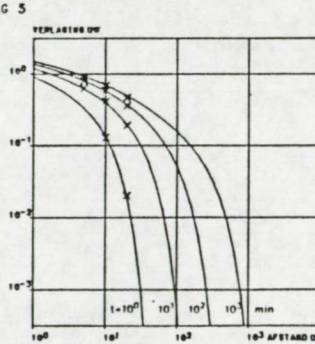
LAAG 6



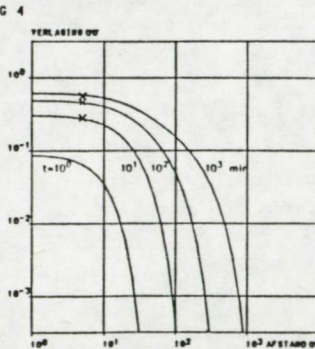
LAAG 5



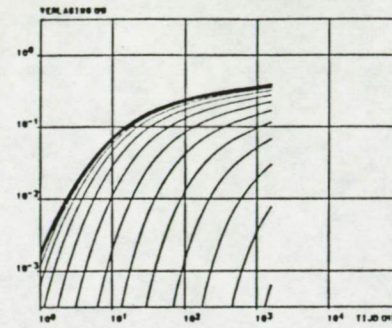
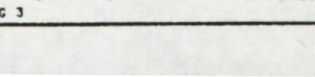
LAAG 4



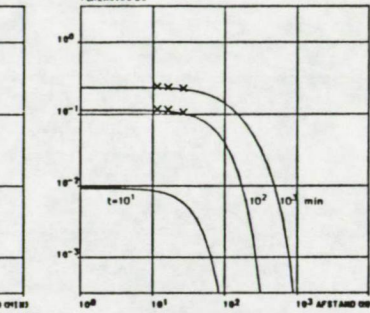
LAAG 3



LAAG 2



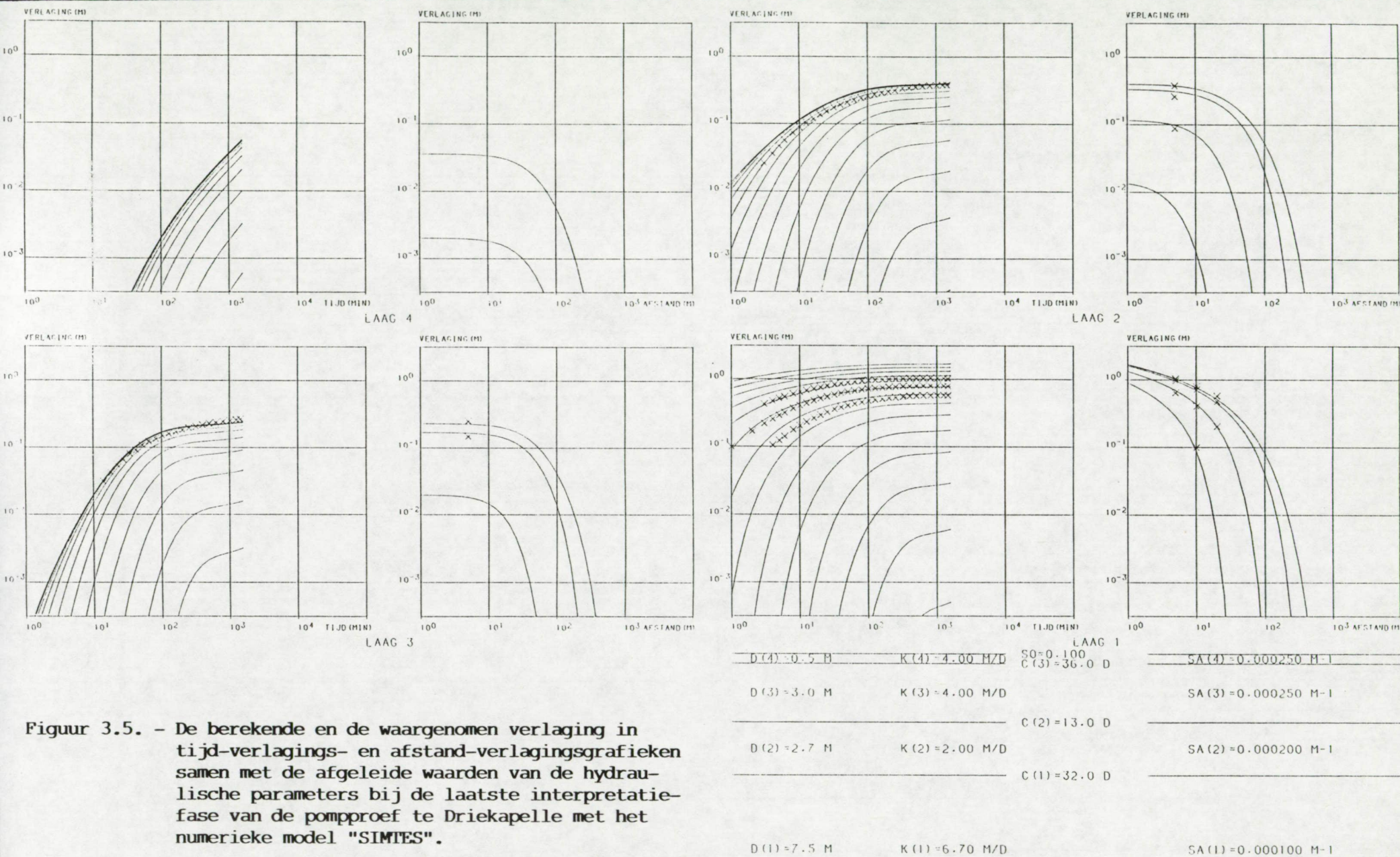
LAAG 1



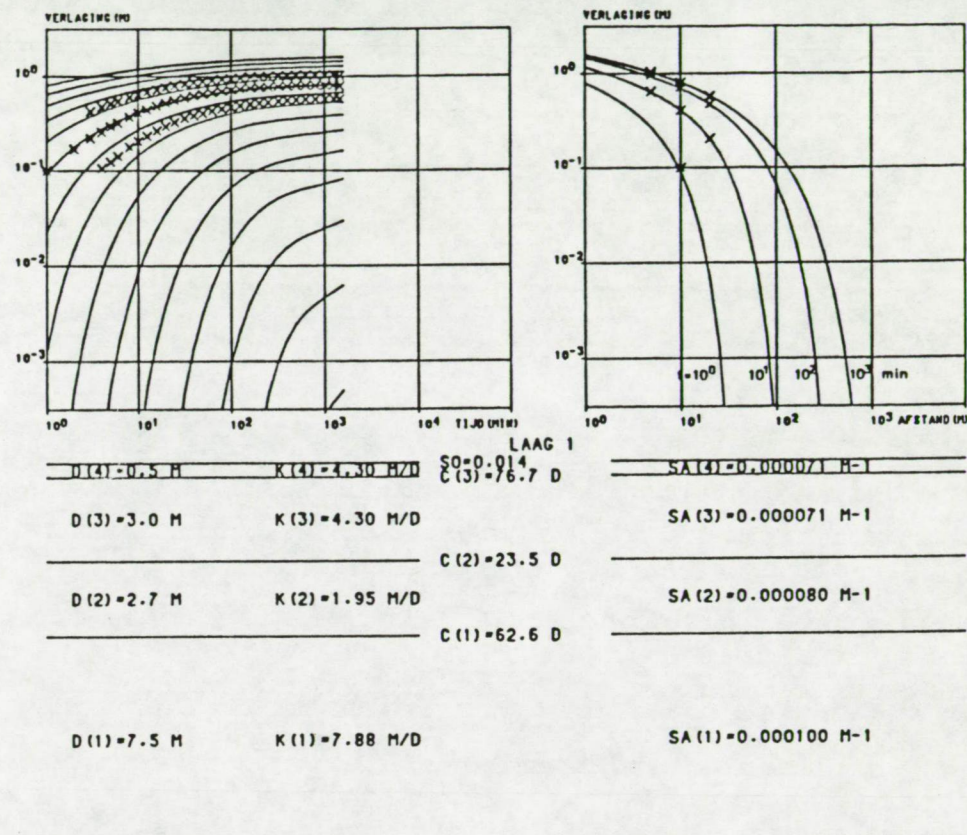
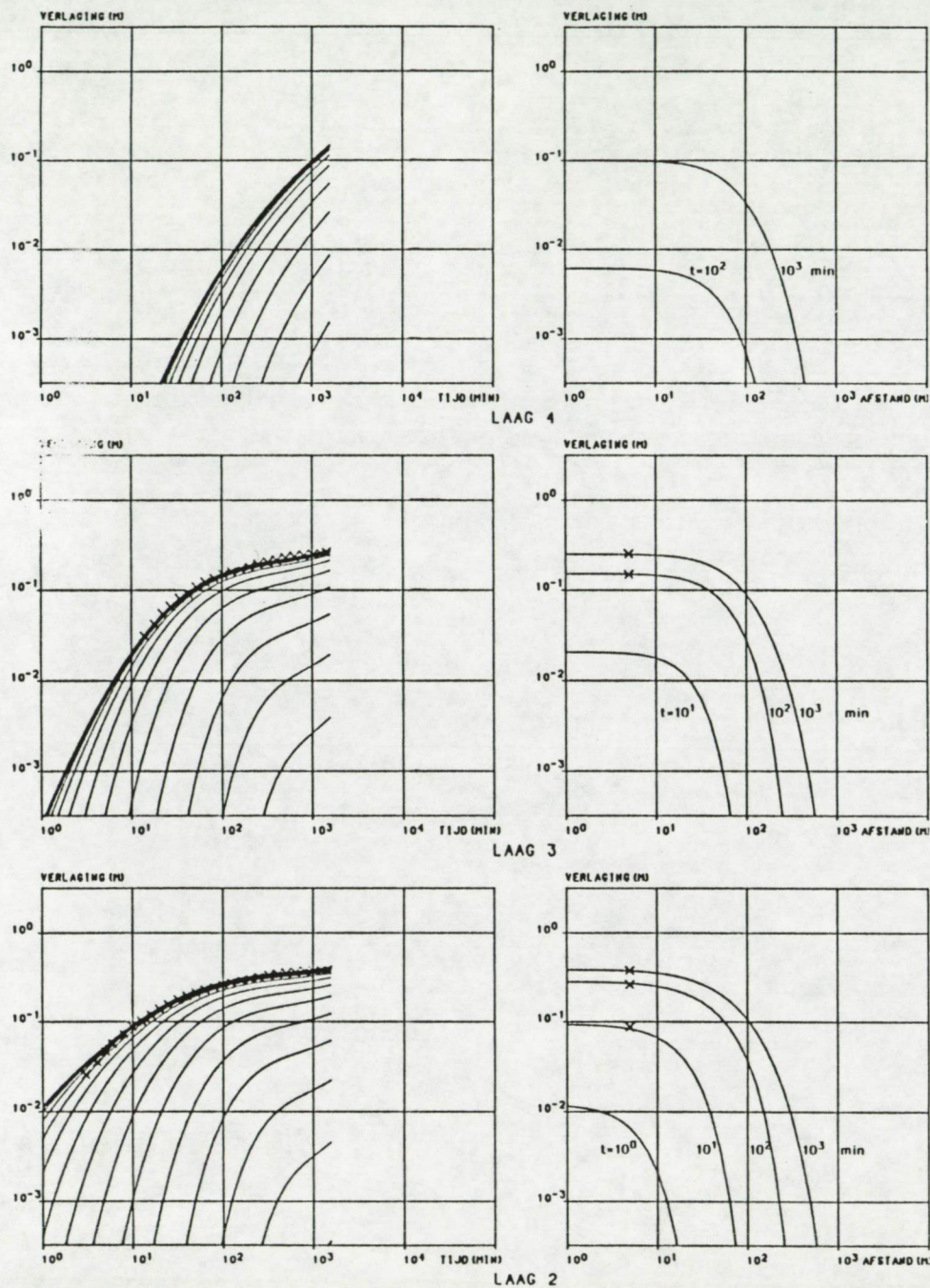
$D(6) = 1.0 \text{ M}$	$K(6) = 4.70 \text{ M/D}$	$S_0 = 0.002$
$D(5) = 1.5 \text{ M}$	$K(5) = 4.70 \text{ M/D}$	$C(5) = 267.0 \text{ D}$
$D(4) = 4.0 \text{ M}$	$K(4) = 19.89 \text{ M/D}$	$C(4) = 6.1 \text{ D}$
$D(3) = 4.0 \text{ M}$	$K(3) = 4.70 \text{ M/D}$	$C(3) = 5.5 \text{ D}$
$D(2) = 4.0 \text{ M}$	$K(2) = 2.35 \text{ M/D}$	$C(2) = 13.3 \text{ D}$
$D(1) = 8.8 \text{ M}$	$K(1) = 11.42 \text{ M/D}$	$C(1) = 13.3 \text{ D}$

$SA(6) = 0.000134 \text{ M-1}$
$SA(5) = 0.000134 \text{ M-1}$
$SA(4) = 0.000161 \text{ M-1}$
$SA(3) = 0.000049 \text{ M-1}$
$SA(2) = 0.000174 \text{ M-1}$
$SA(1) = 0.000056 \text{ M-1}$

AVEKAPELLE - POMPROEF IN LAAG 4 - $Q=183 \text{ M}^3/\text{D}$



Figuur 3.5. - De berekende en de waargenomen verlaging in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken samen met de afgeleide waarden van de hydraulische parameters bij de laatste interpretatiefase van de pompproef te Driekapelle met het numerieke model "SIMTES".



DRIEKAPELLE - POMPING IN LAAG 1 - $Q=125 \text{ M}^3/\text{D}$

Fig. 3.6. - De berekende en de waargenomen verlaging in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken samen met de afgeleide waarden van de hydraulische parameters bij de tweede interpretatiefase van de pompproef te Driekapelle met het invers model (L. LEBBE, 1988).

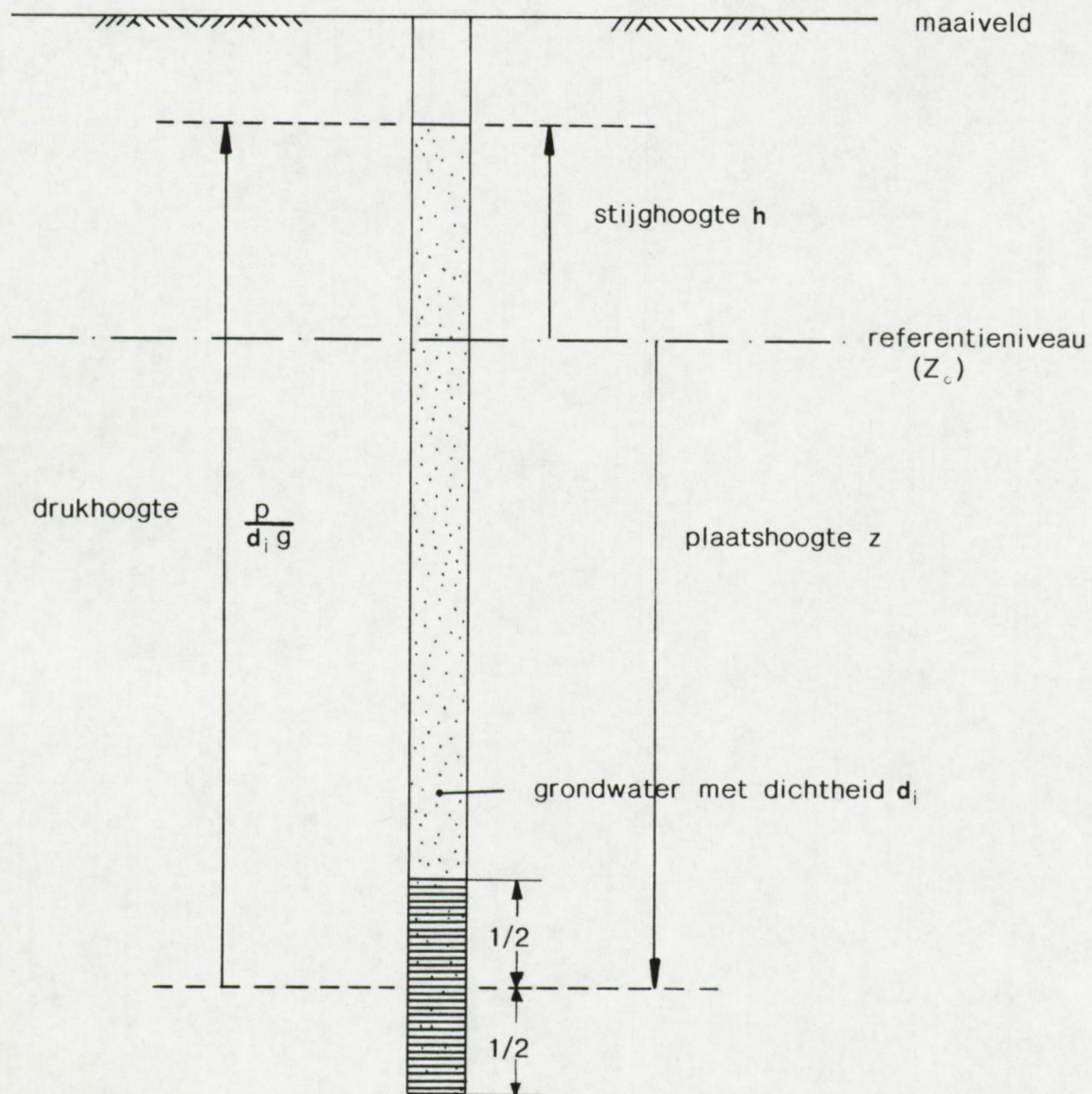


Fig. 4.1. - Relatie tussen stijghoogte, plaatshoogte en drukhoogte.

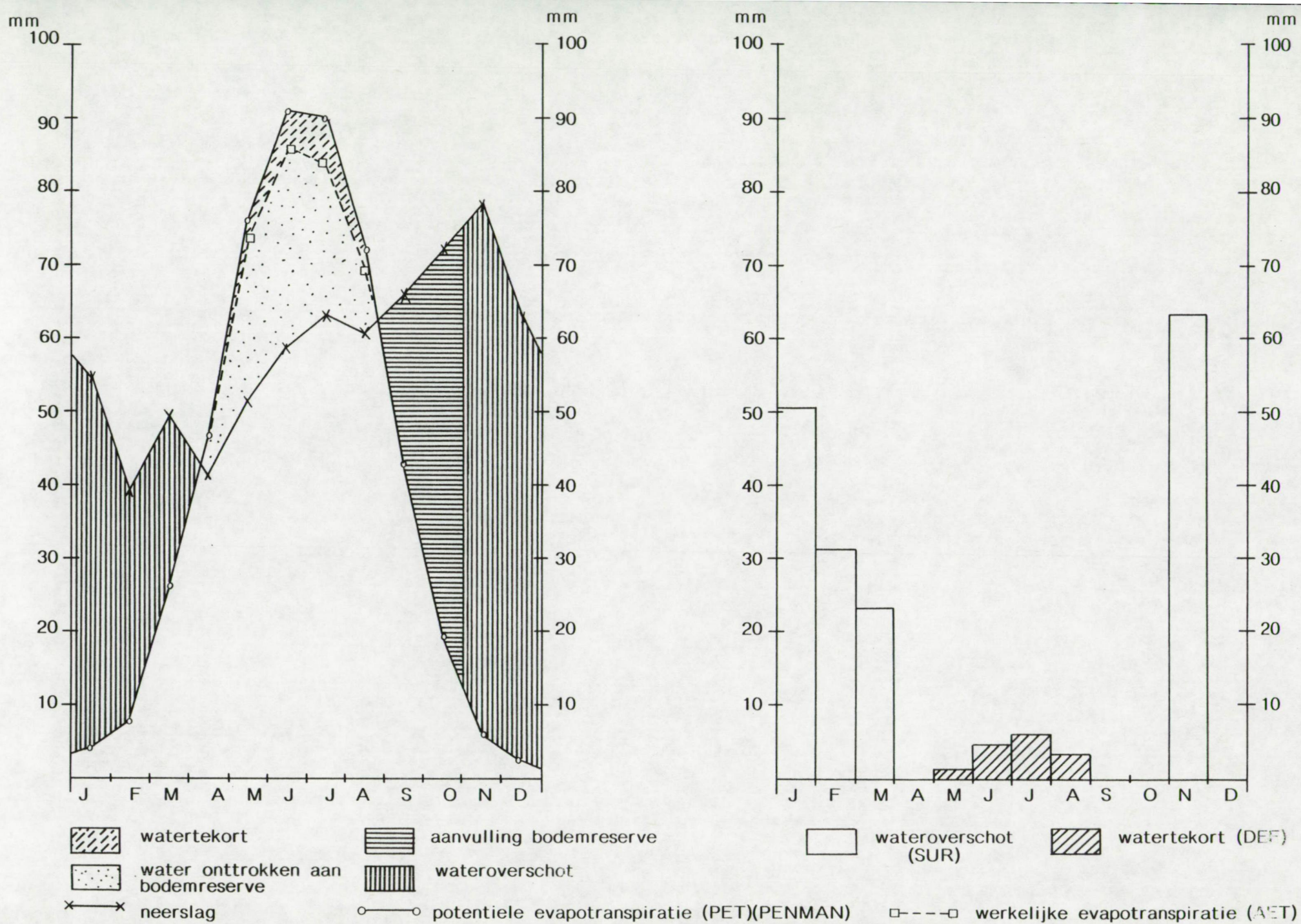


Fig. 4.2. - Gemiddelde waterbalans van de onverzadigde zone in de IJzervlakte

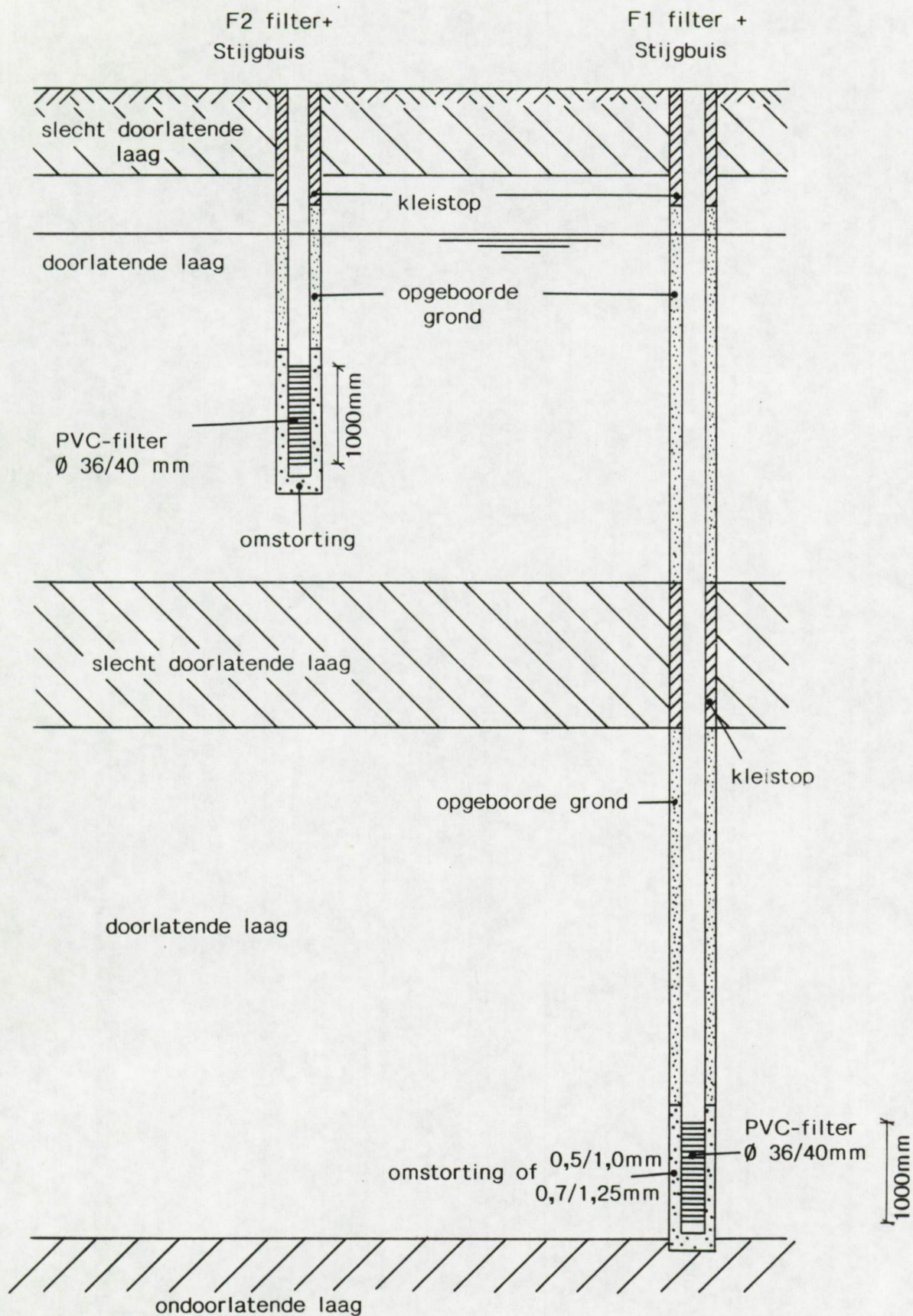


Fig. 4.4. - Opbouw van de peilbuizen.

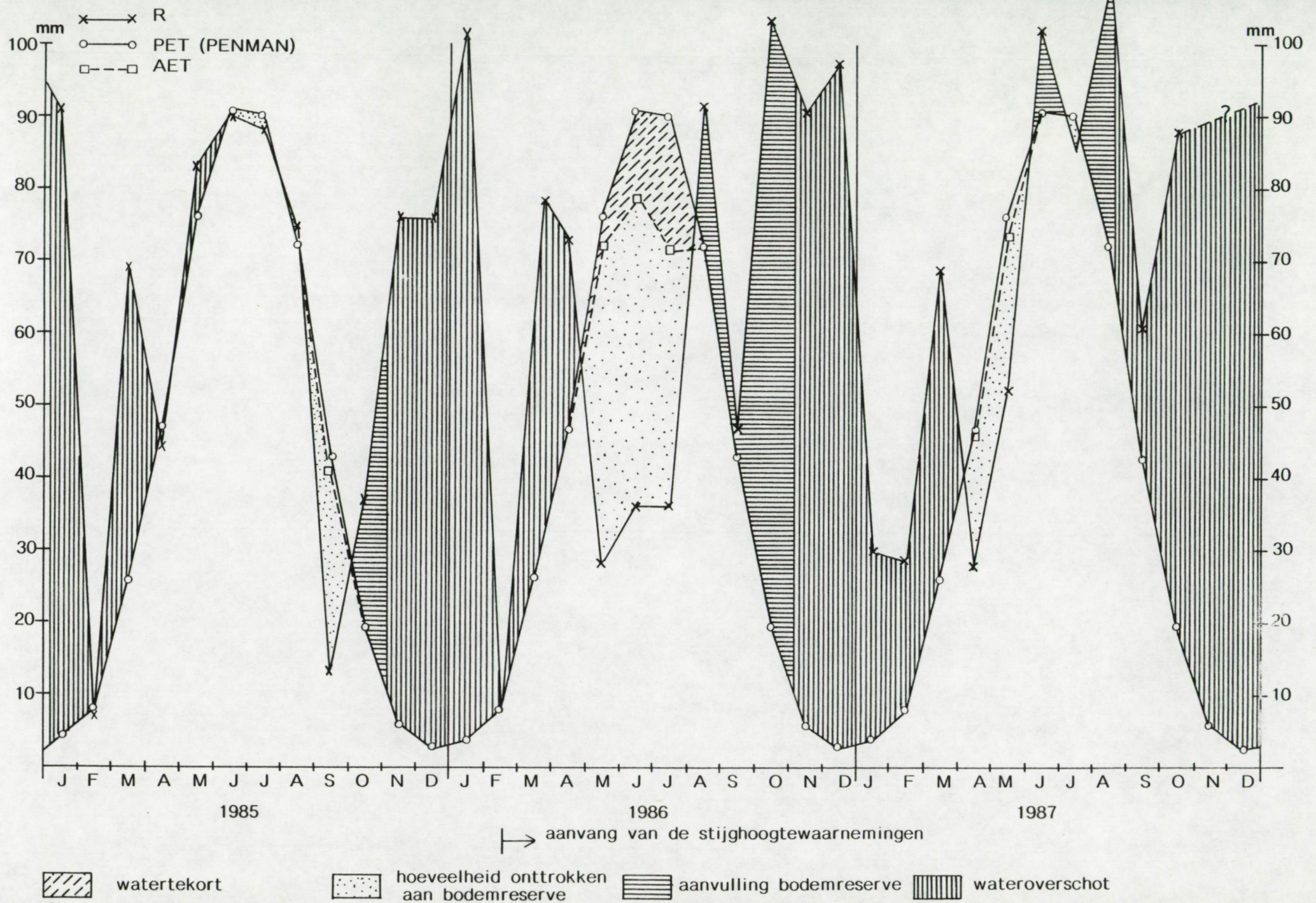


Fig. 4.5. - Waterbalans van de onverzadigde zone voor de periode 1985-1987.

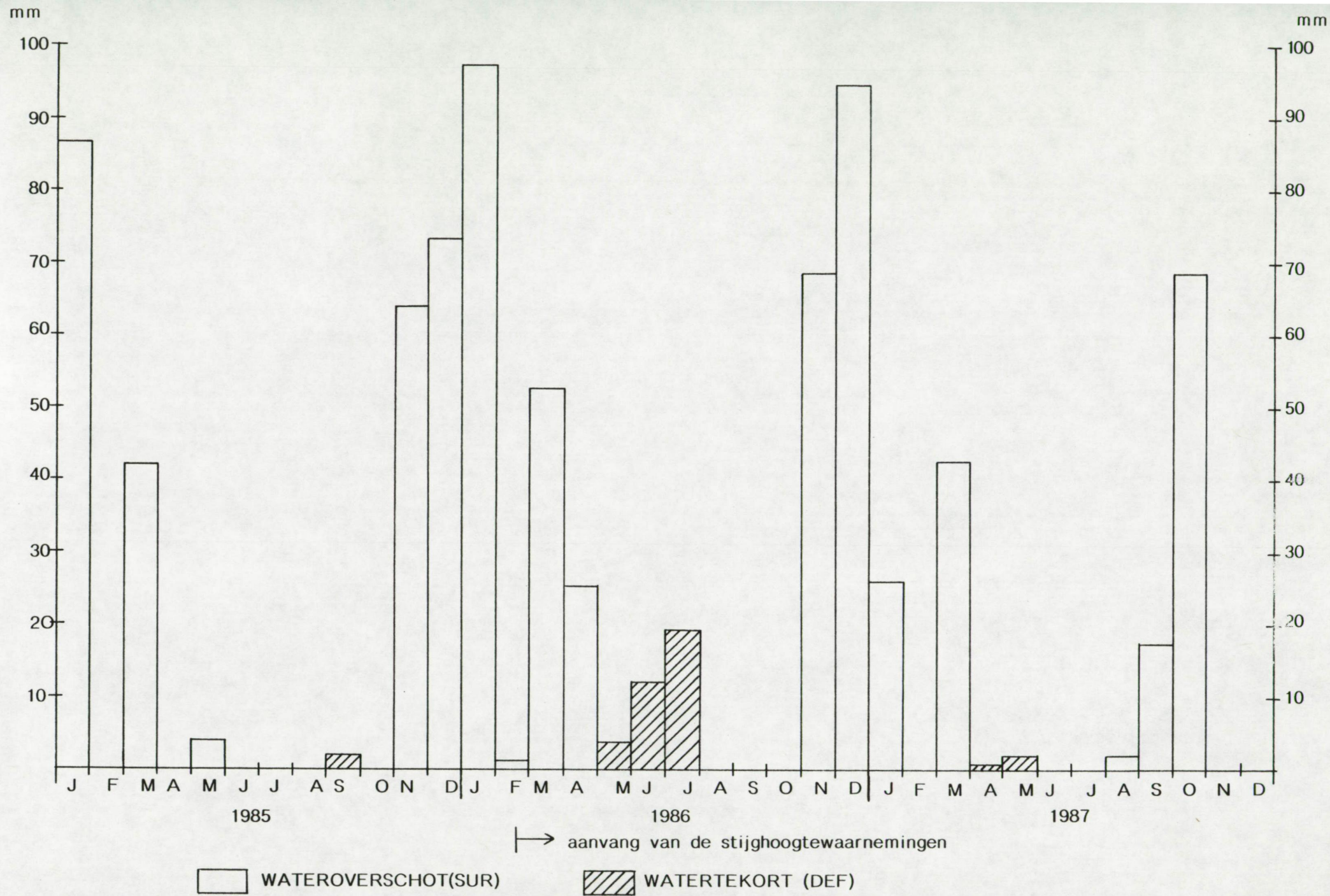


Fig. 4.6. - Overschot of tekort op de waterbalans van de onverzadigde zone voor de periode 1985-1987.

R/\bar{R}

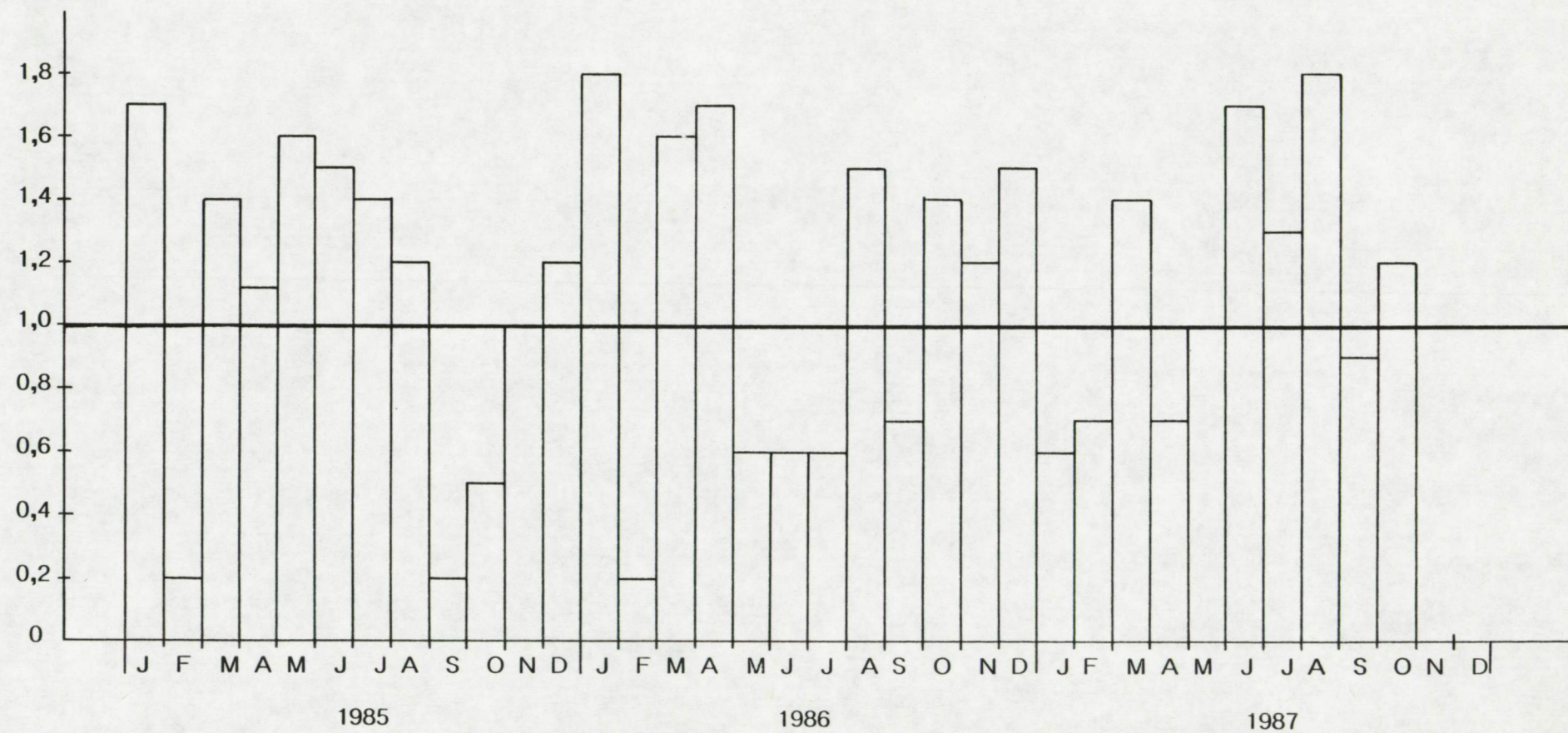


Fig. 4.7. - Maandelijke neerslaghoeveelheden voor de periode 1985-1987, uitgedrukt als verhouding tot de gemiddelde maandelijks neerslagen (periode 1957-1987).

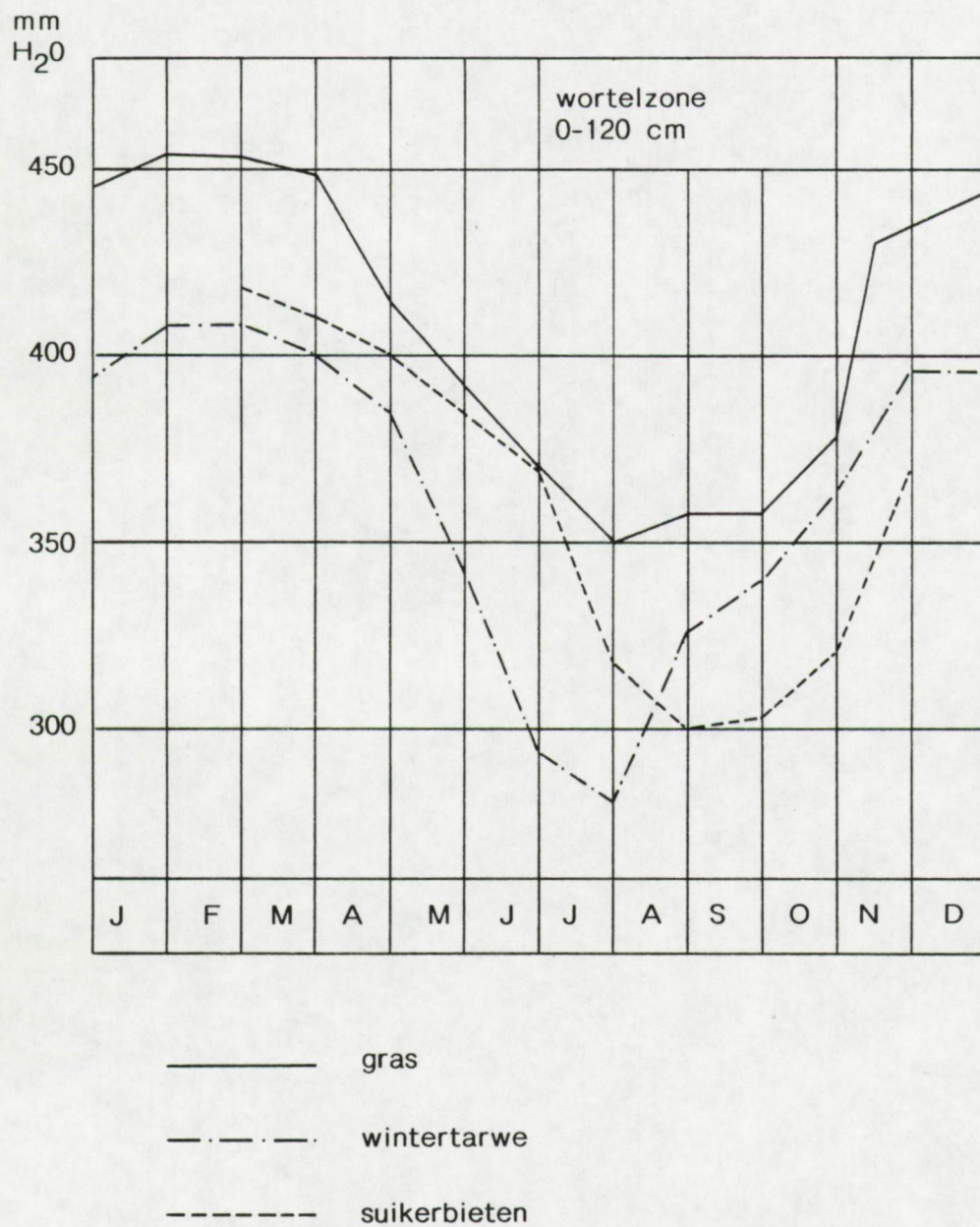


Fig. 4.8. - Maandelijkse bodemwatergehalten in de wortelzone (0-120 cm) van een leembodem. Vergelijking tussen gras, winter tarwe en suikerbieten.
(J. VAN HOVE, s.d.)

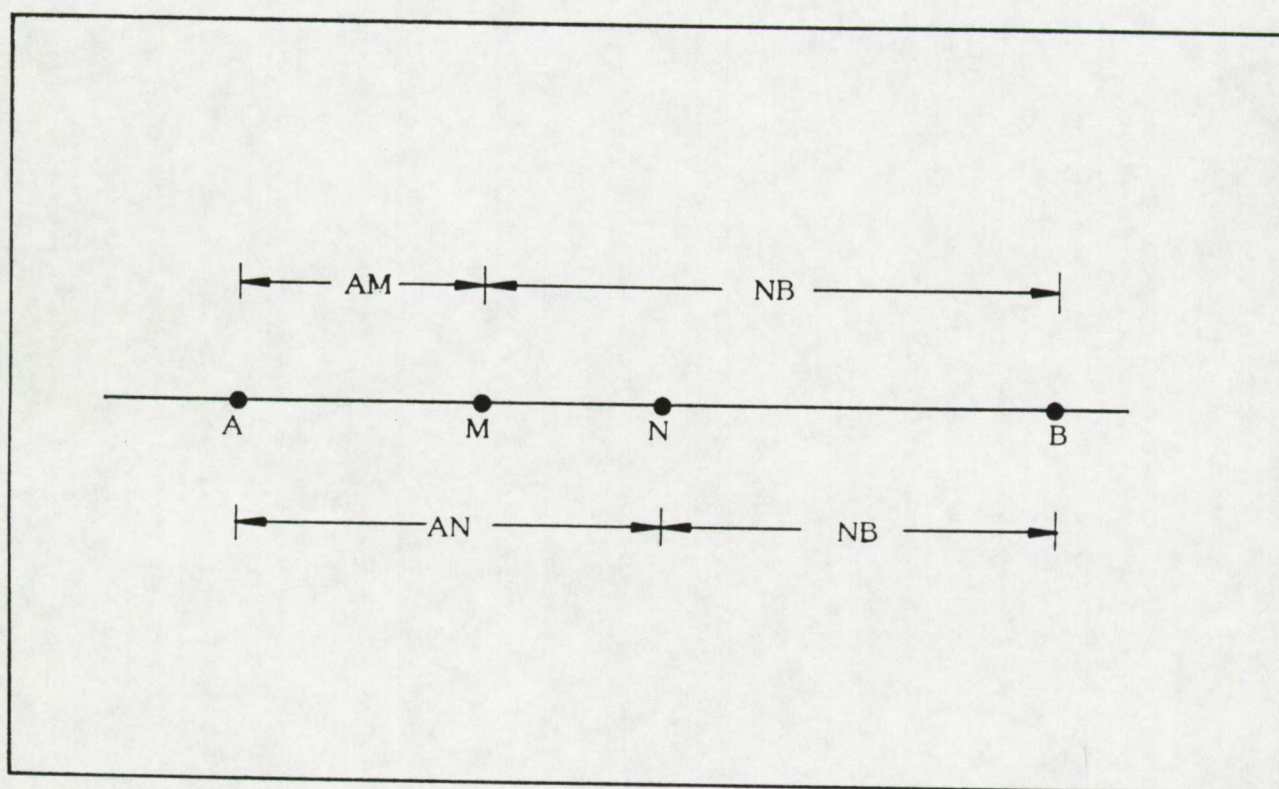


Fig 5.1. - Elektrodenconfiguratie in klassieke resistiviteitsmetingen in het boorgat.

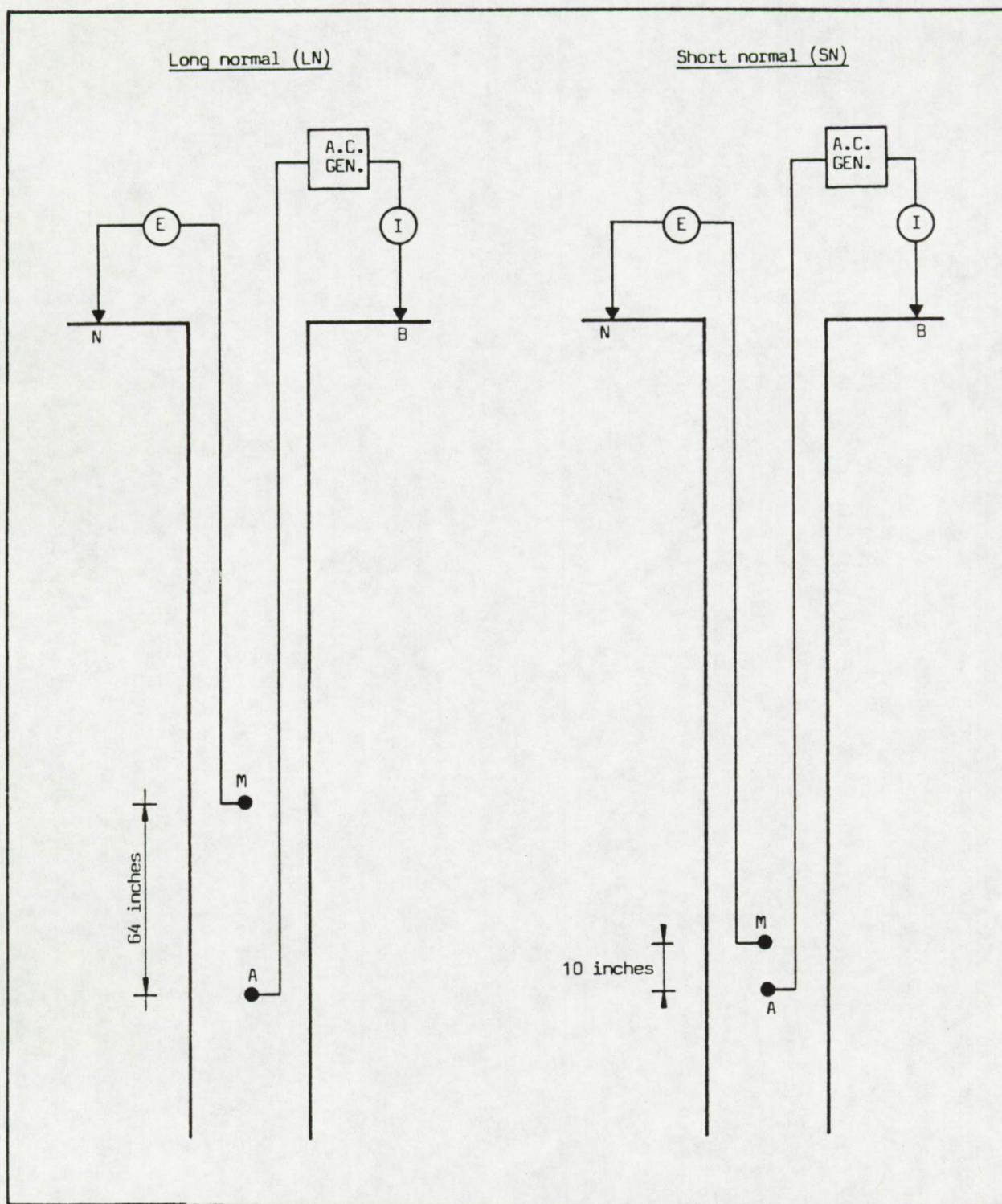


Fig 5.2. - Elektrodenconfiguratie in resistiviteitsmetingen met de normaal-opstelling (lange en korte normaalopstelling).

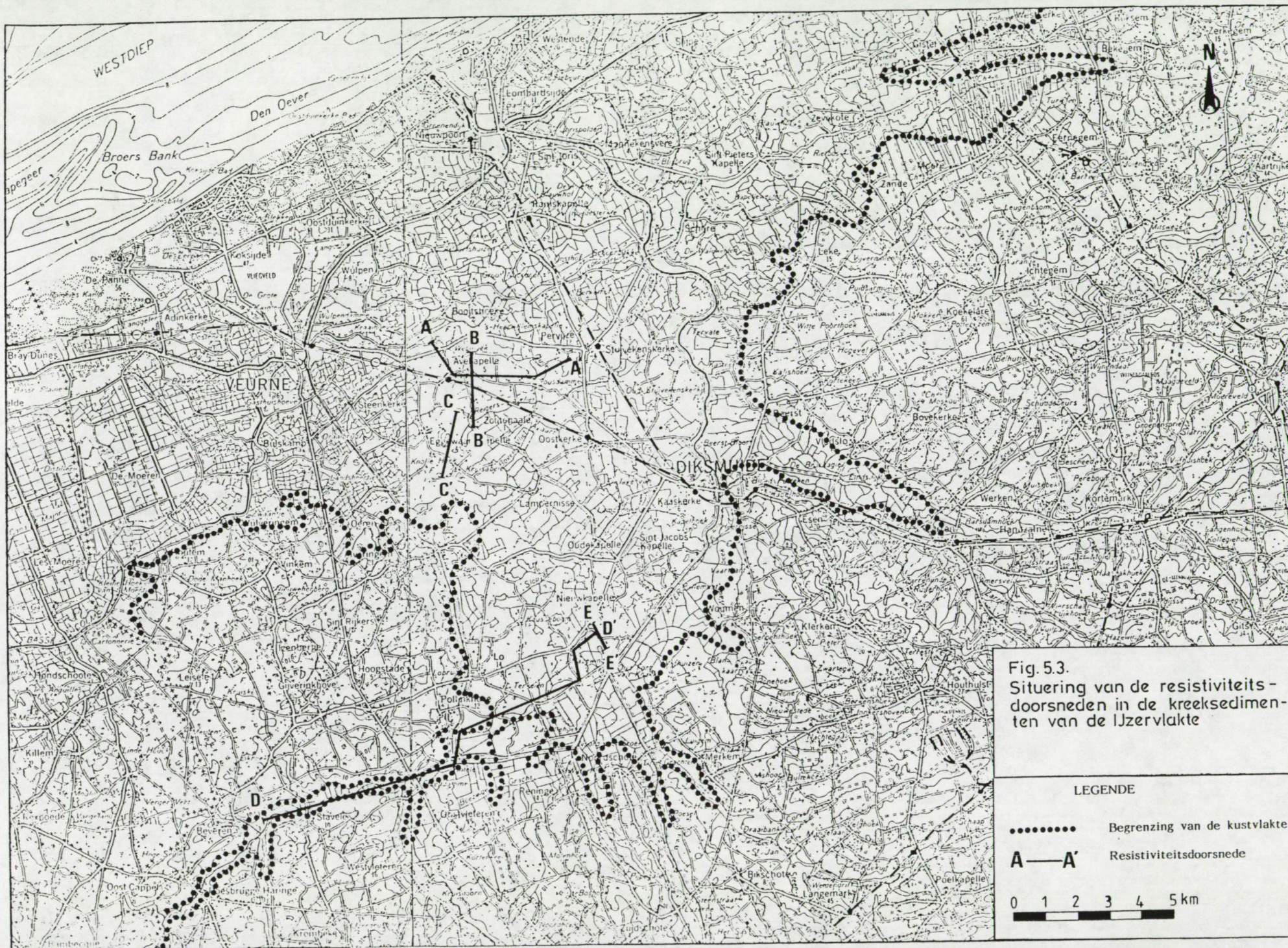


Fig. 5.3.
Situering van de resistiviteits-
doorsneden in de kreesedimen-
ten van de IJzervlakte

LEGENDE

..... Begrenzing van de kustvlakte

A—A' Resistiviteitsdoorsnede

0 1 2 3 4 5 km

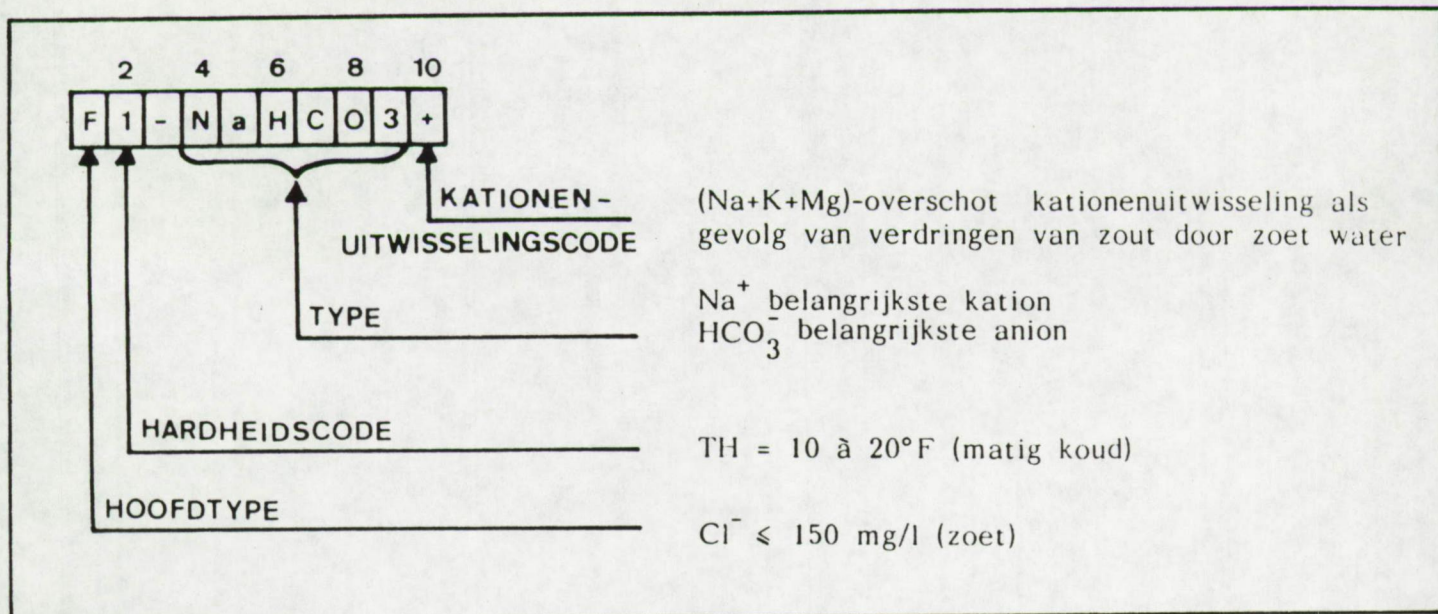


Fig. 5.4 - Code voor een watertype in 10 posities (P. STUYFZAND, 1986).

Het voorbeeld is een "zoet, matig hard, natriumbicarbonaatwater met een (Na + K + Mg) - overschot.

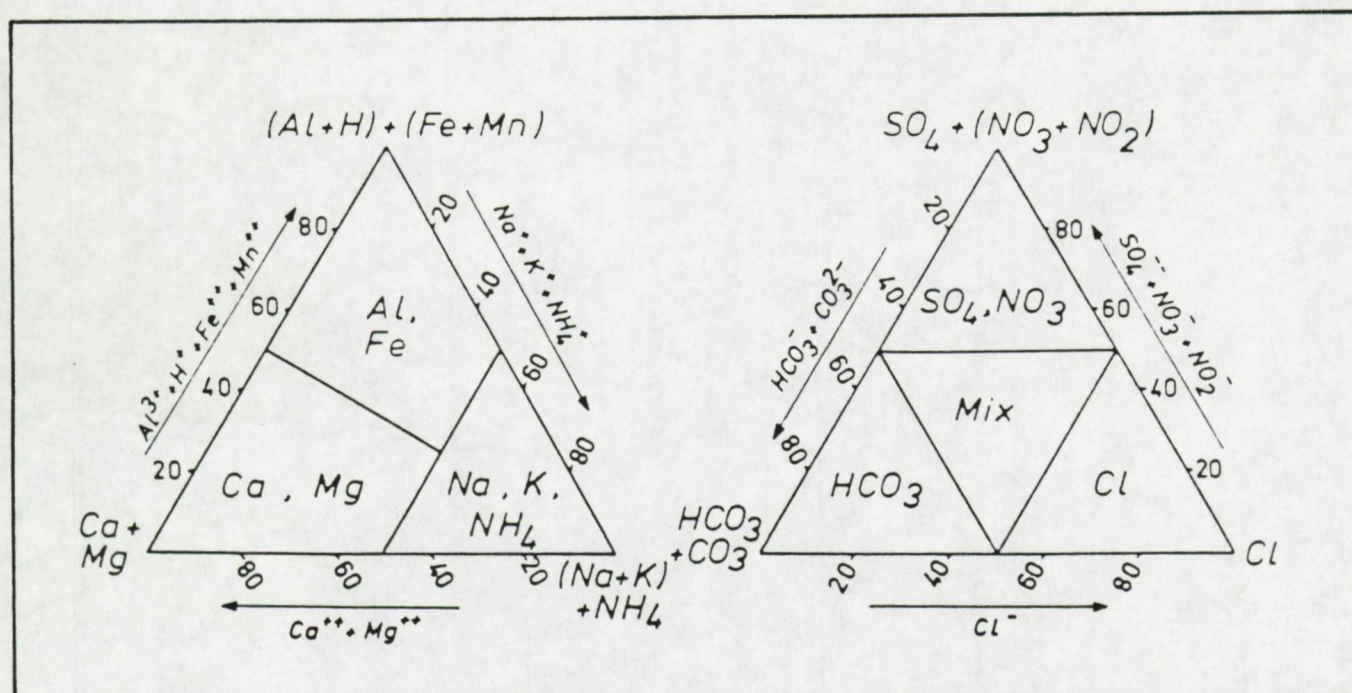


Fig 5.5 - Bepalen van een watertype op basis van de proportionele verdeling van hoofdelementen in de som van kationen en anionen in meq/l (P. STUYFZAND, 1986).

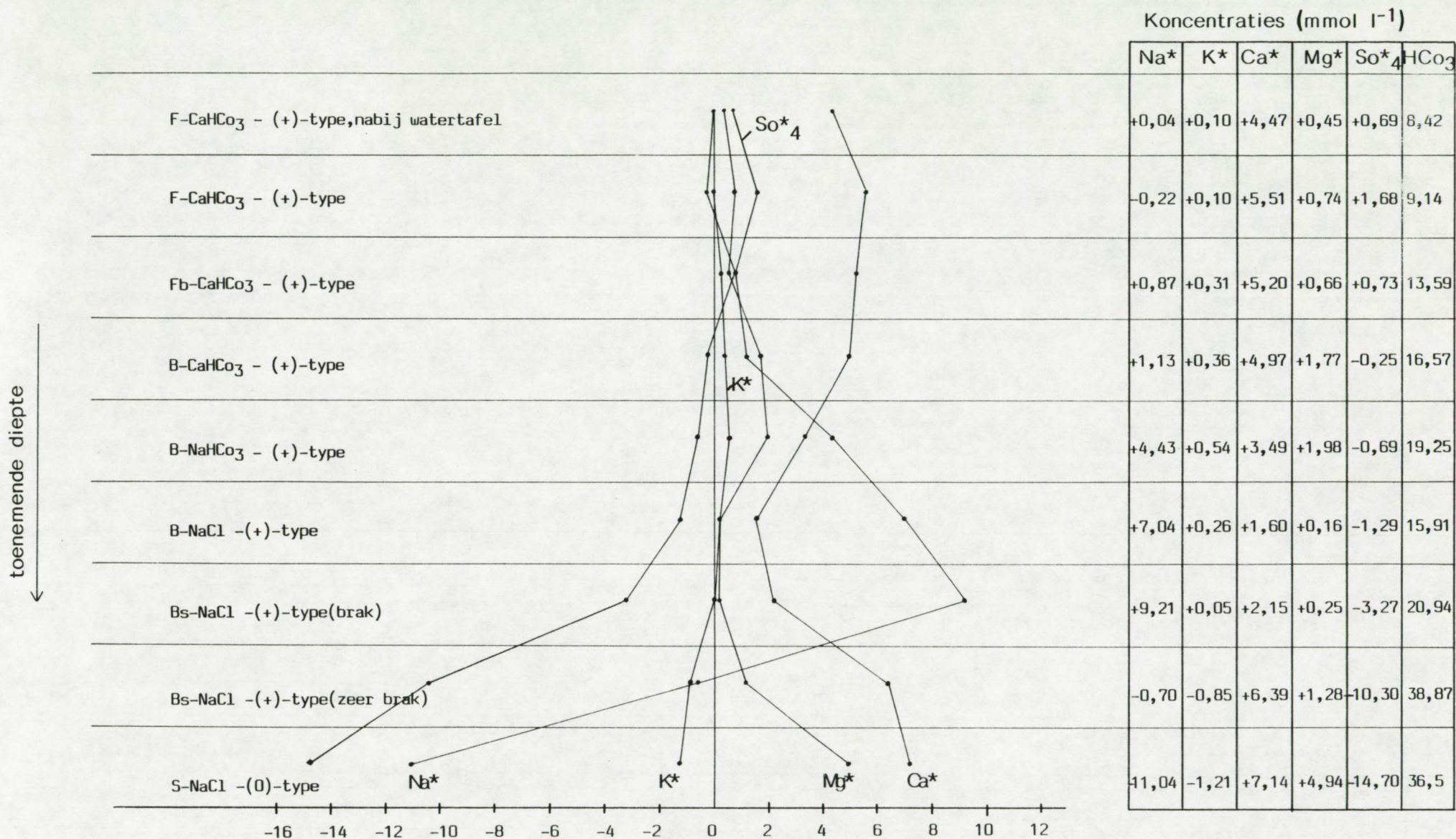


Fig. 5.6 - Mogelijke evolutiereeks van de grondwaterkwaliteit in de zandige kreeksedimenten.

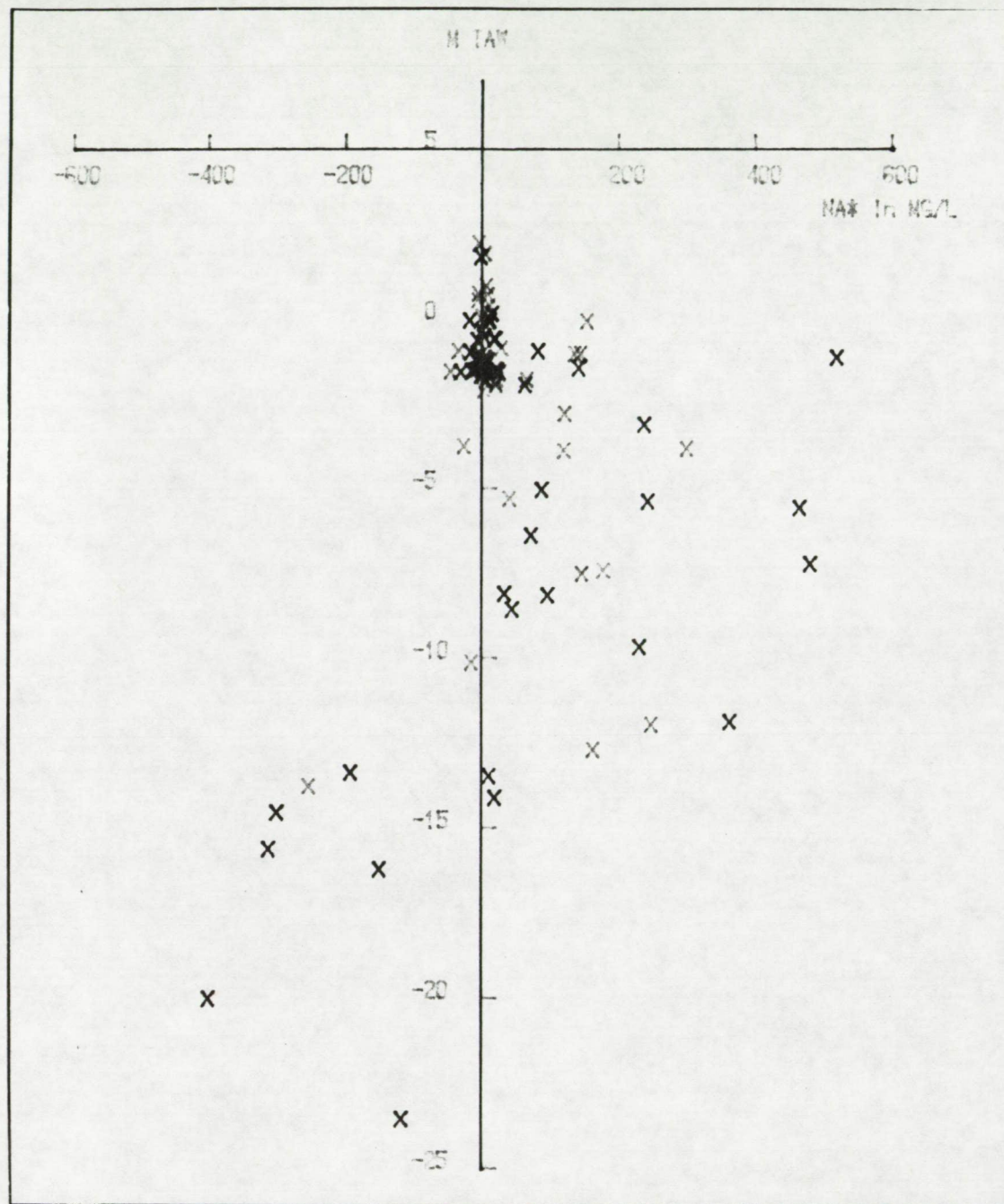


Fig. 5.7 - Het gekorrigeerde Na-gehalte (Na*) in functie van de diepte

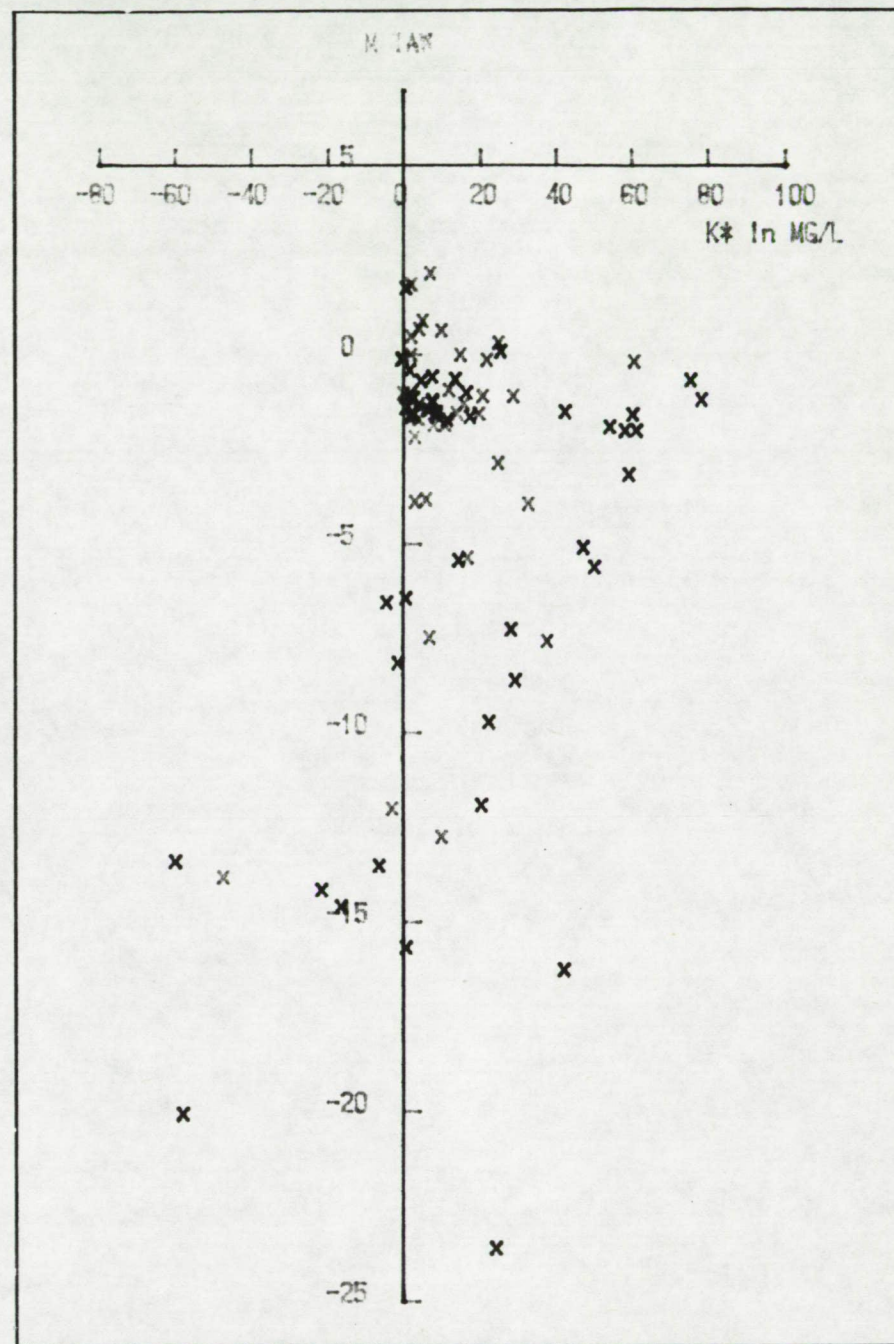


Fig.5.8 - Het gekorrigeerde K-gehalte (K*) in functie van de diepte.

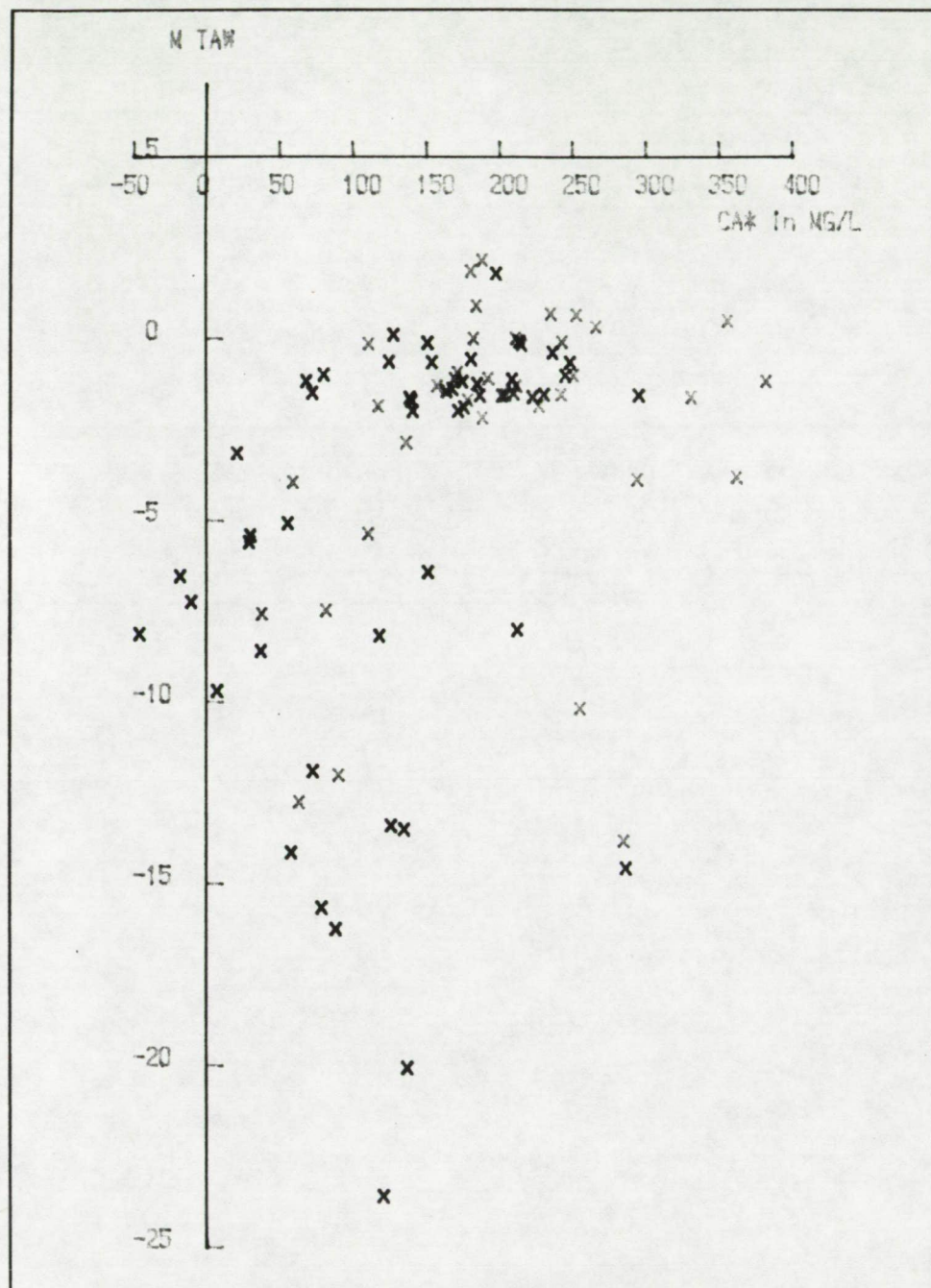


Fig. 5.9 - Het gekorrigeerde Ca-gehalte (Ca*) in functie van de diepte.

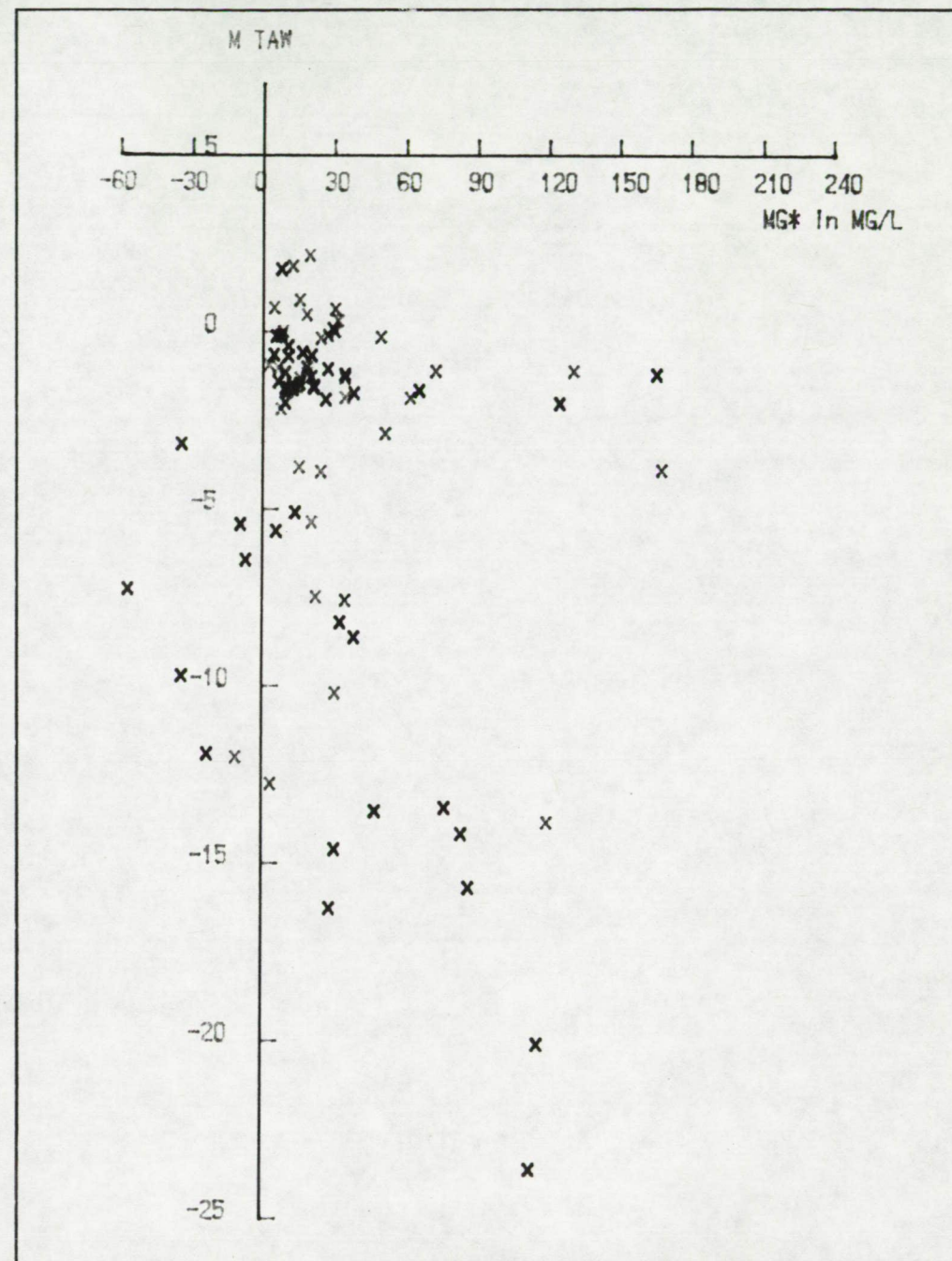


Fig. 5.10 - Het gekorrigeerde Mg-gehalte in functie van de diepte.

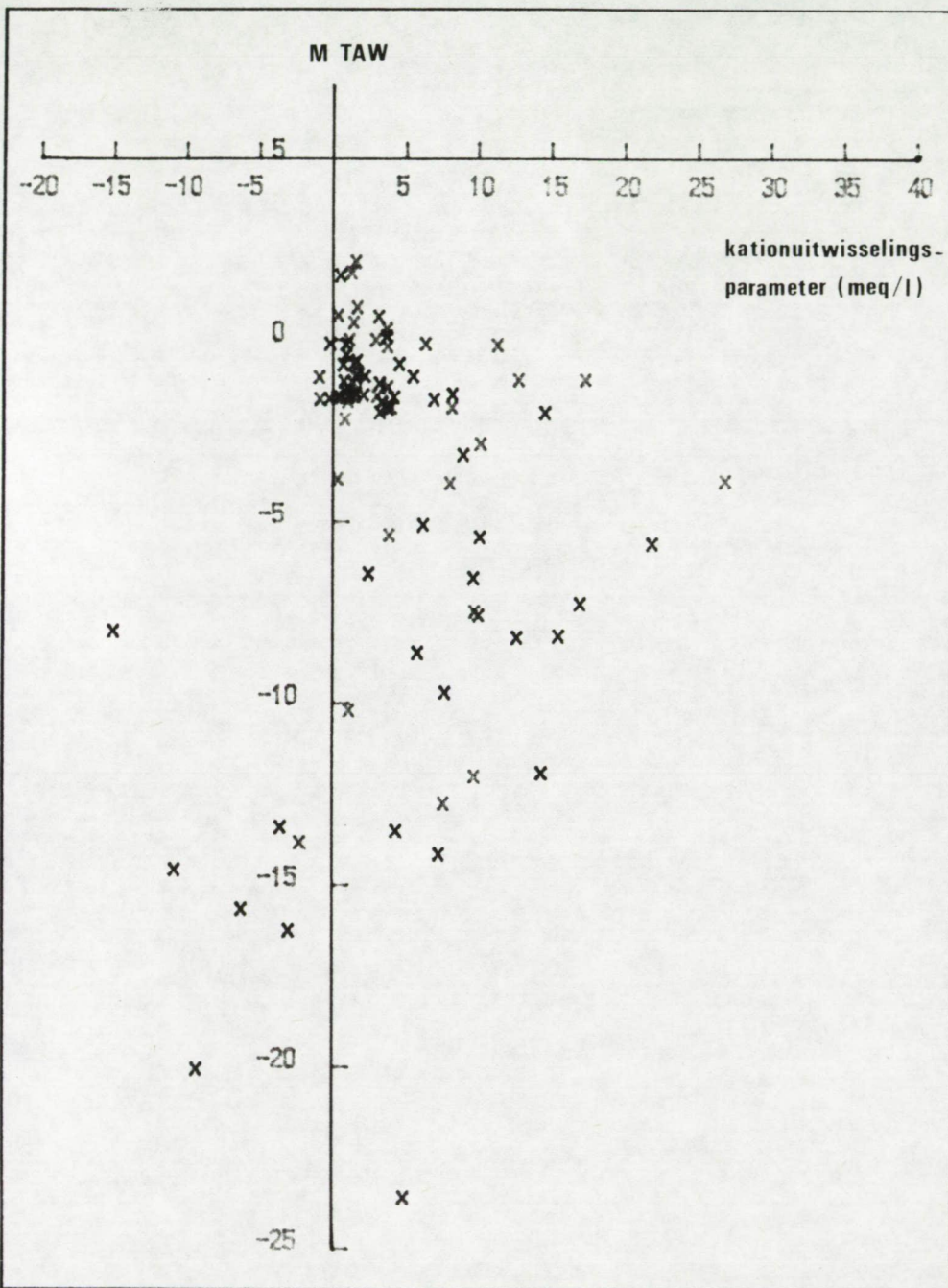


Fig. 5.11 - De kationuitwisselingsparameter in functie van de diepte

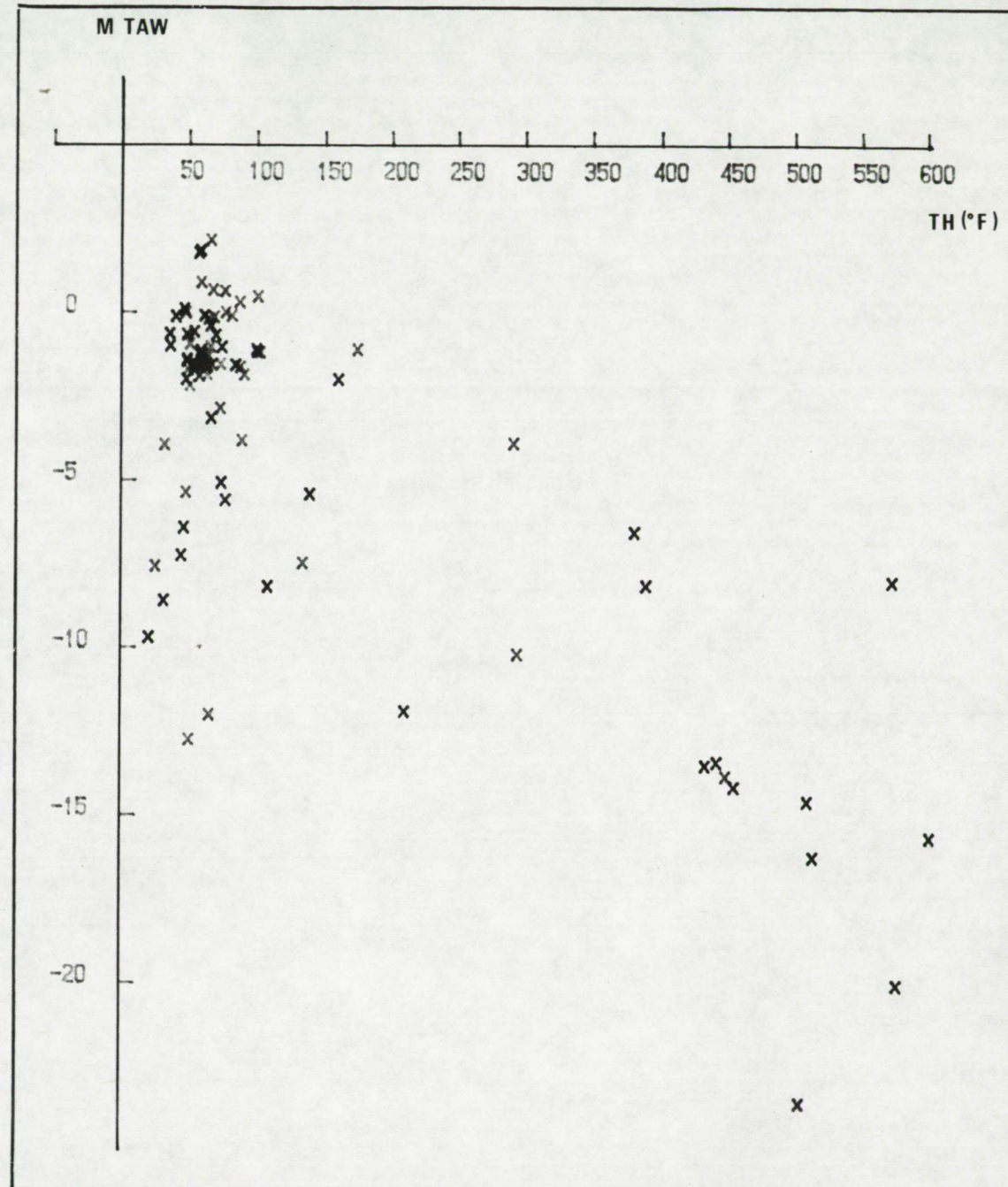


Fig. 5.12 - De totale hardheid (TH) in functie van de diepte.

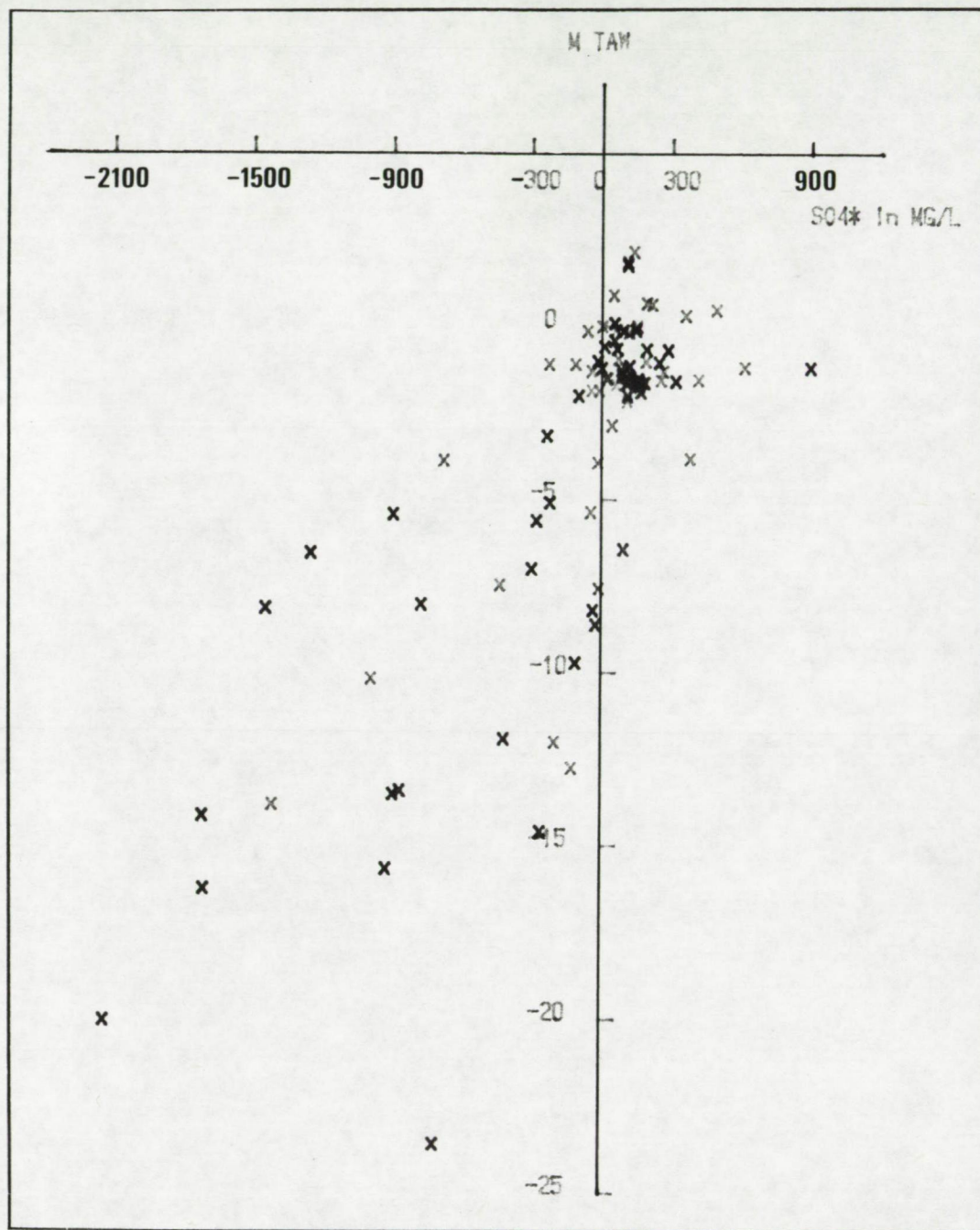


Fig. 5.13 - Het gekorrigeerde SO_4 -gehalte (SO_4^*) in functie van de diepte.

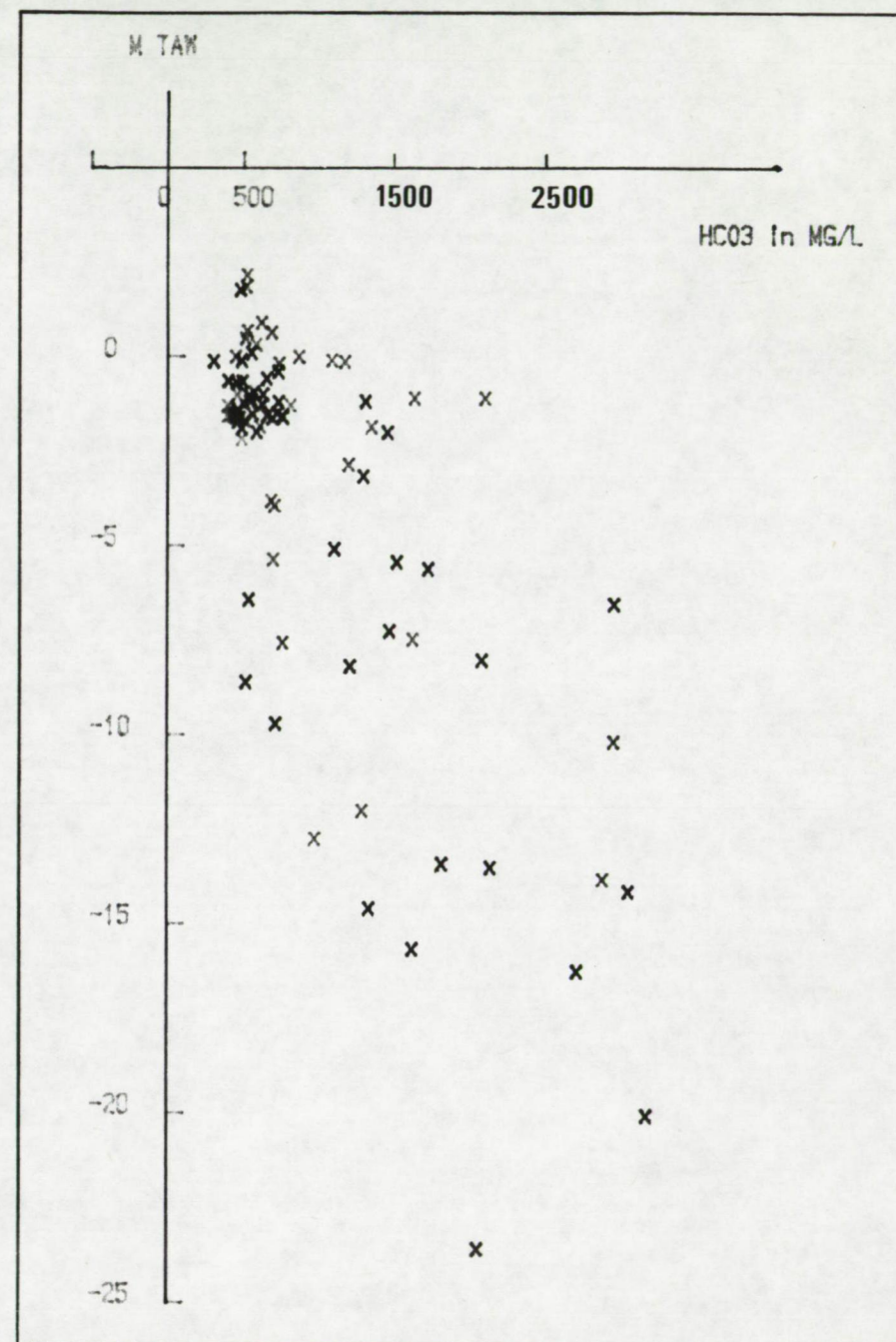


Fig. 5.14 - Het HCO_3^- -gehalte in functie van de diepte.

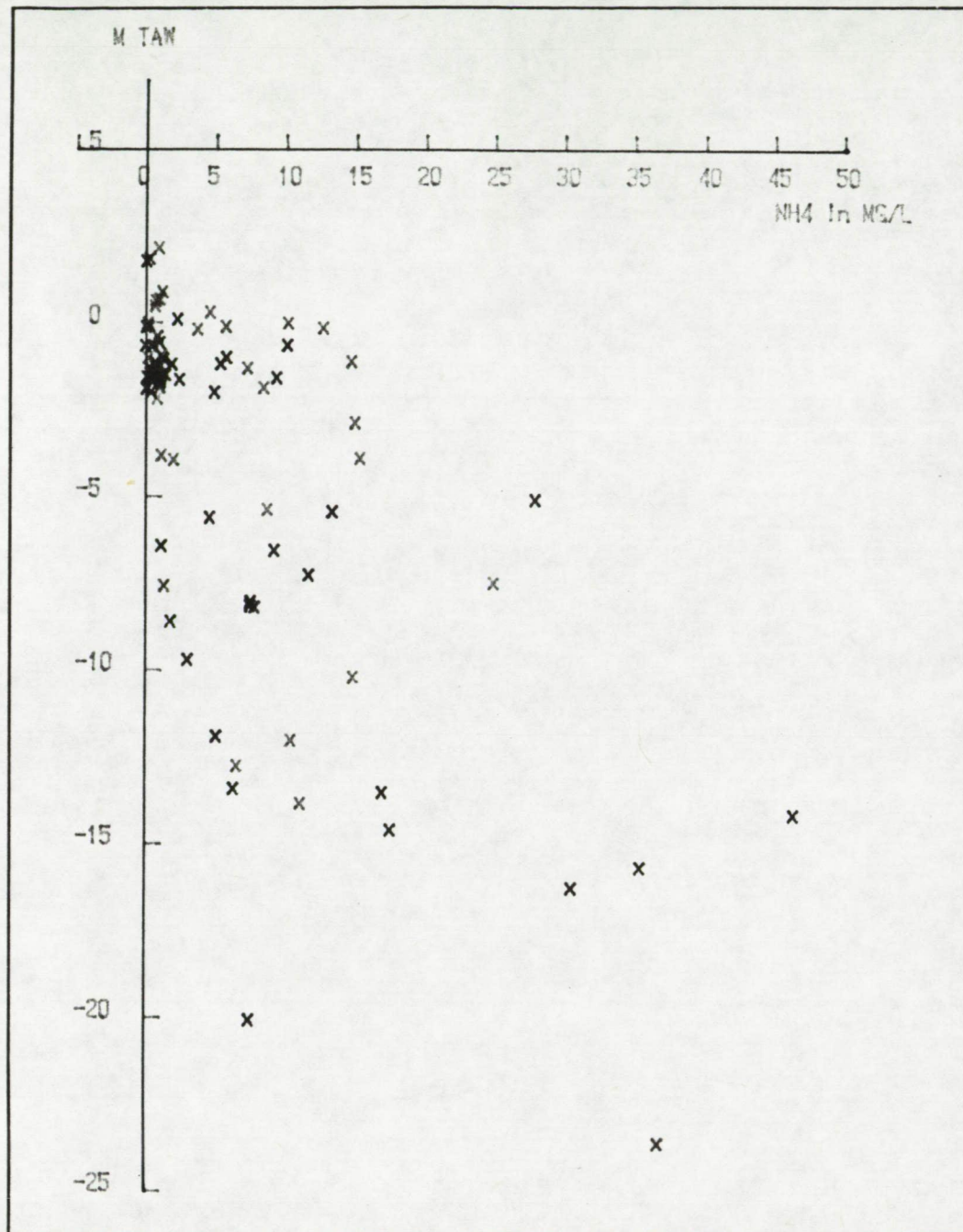


Fig. 5.15 - Het NH_4^+ -gehalte in functie van de diepte.

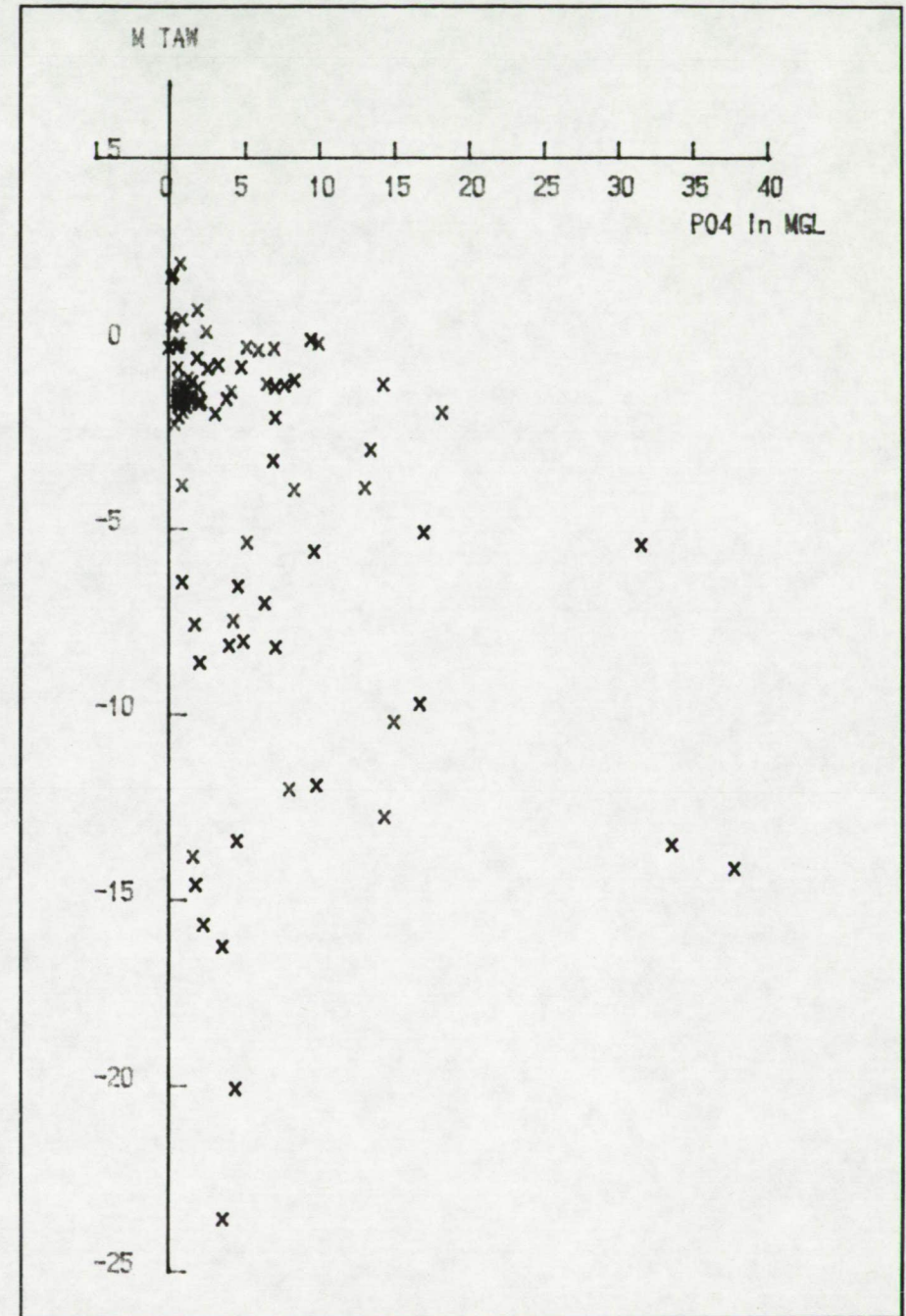


Fig. 5.16 - Het PO_4^{3-} -gehalte in functie van de diepte.

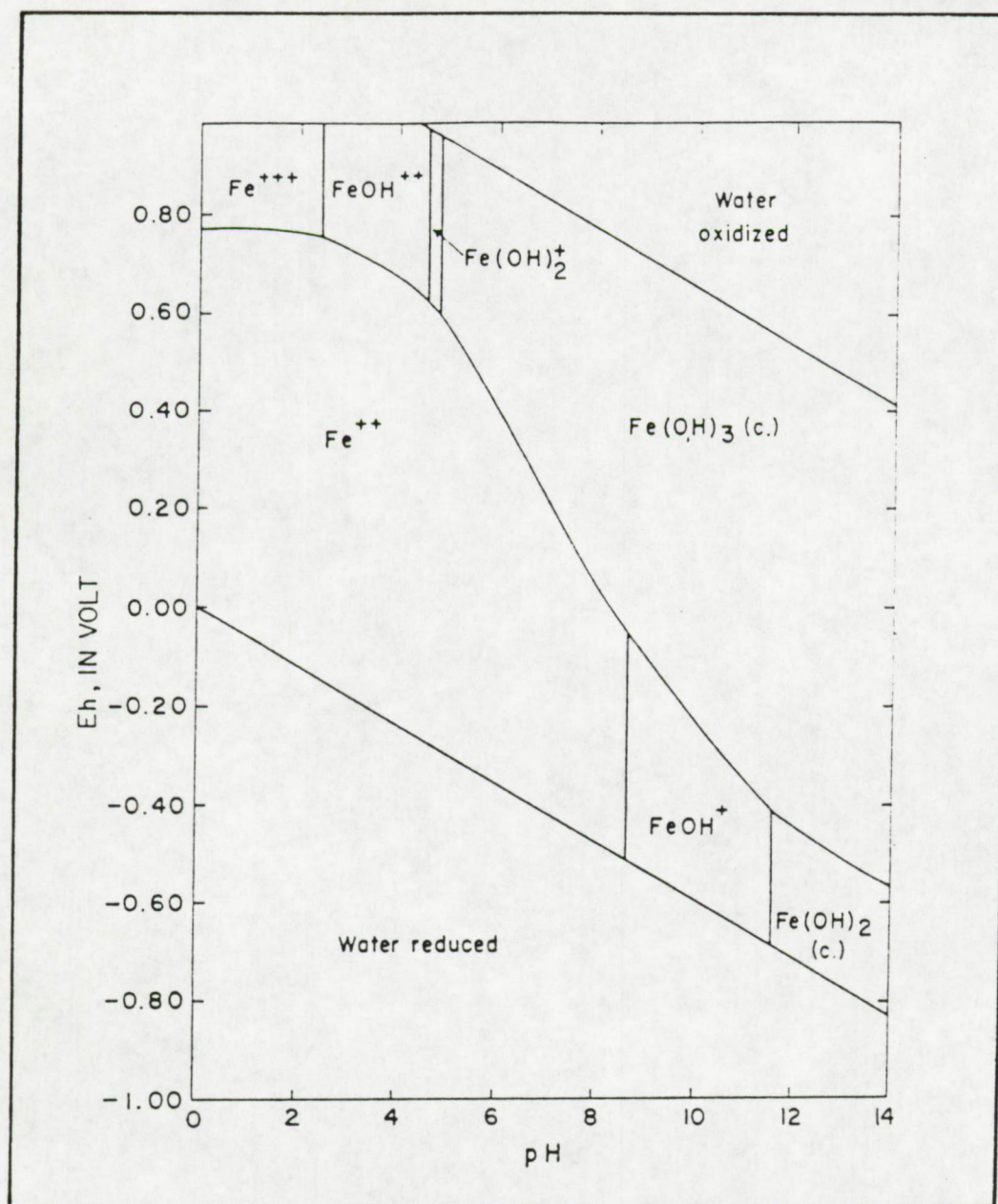


Fig. 5.18 - Stabiliteit van ijzerverbindingen in waterige oplossing (totale activiteit van ijzer in voorgesteld systeem : molaliteit = 2×10^{-7}) (J. HEM & W. CROPPER, 1959)

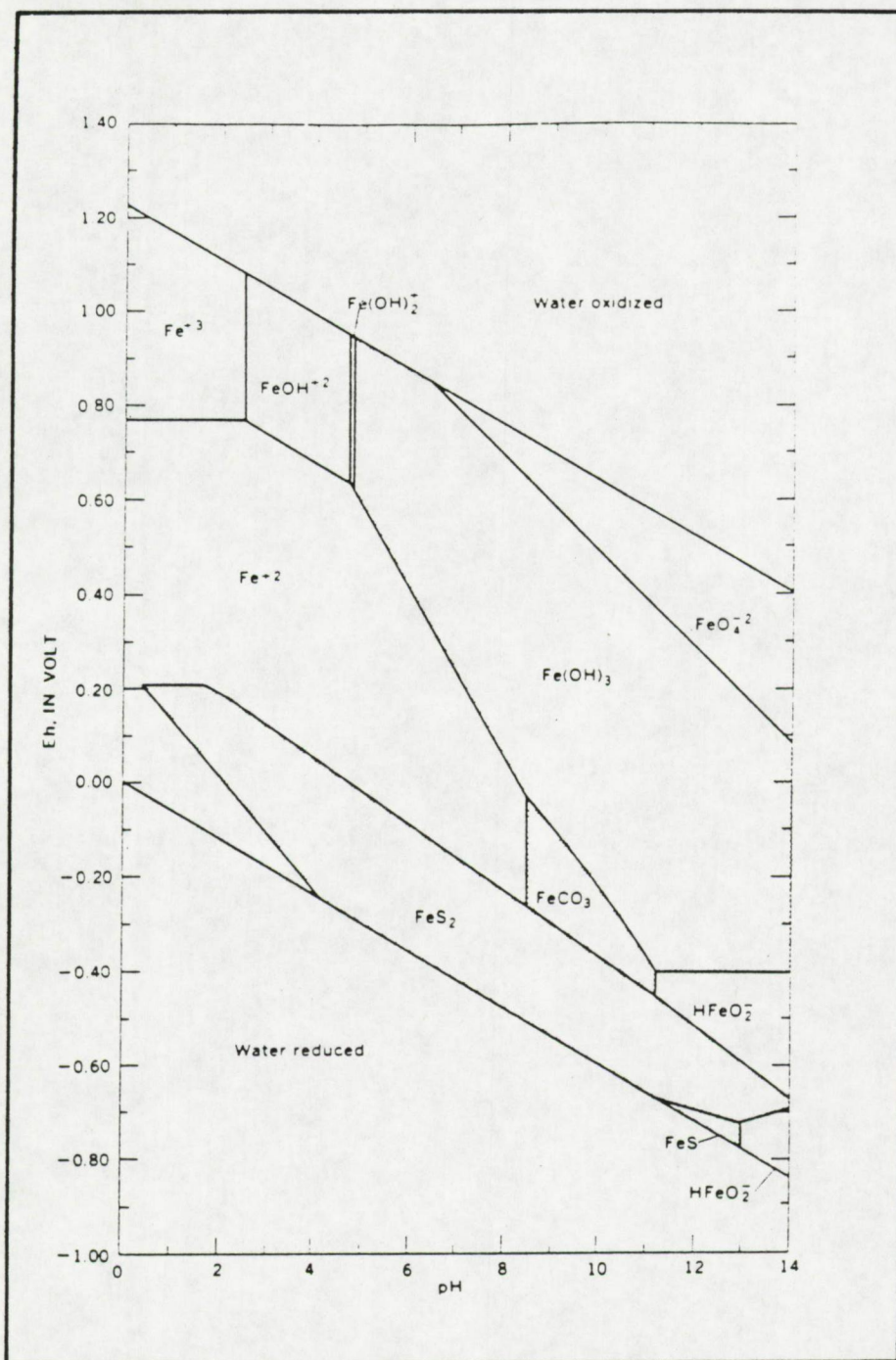


Fig. 5.19 - Stabiliteit van opgelost ijzer in aanwezigheid van zwavel en opgeloste koolstof (S : 96 mg/l als SO_4^{2-} ; C : 1000 mg/l als HCO_3^- ; opgelost Fe : 0.0056 mg/l)(J. HEM, 1970)

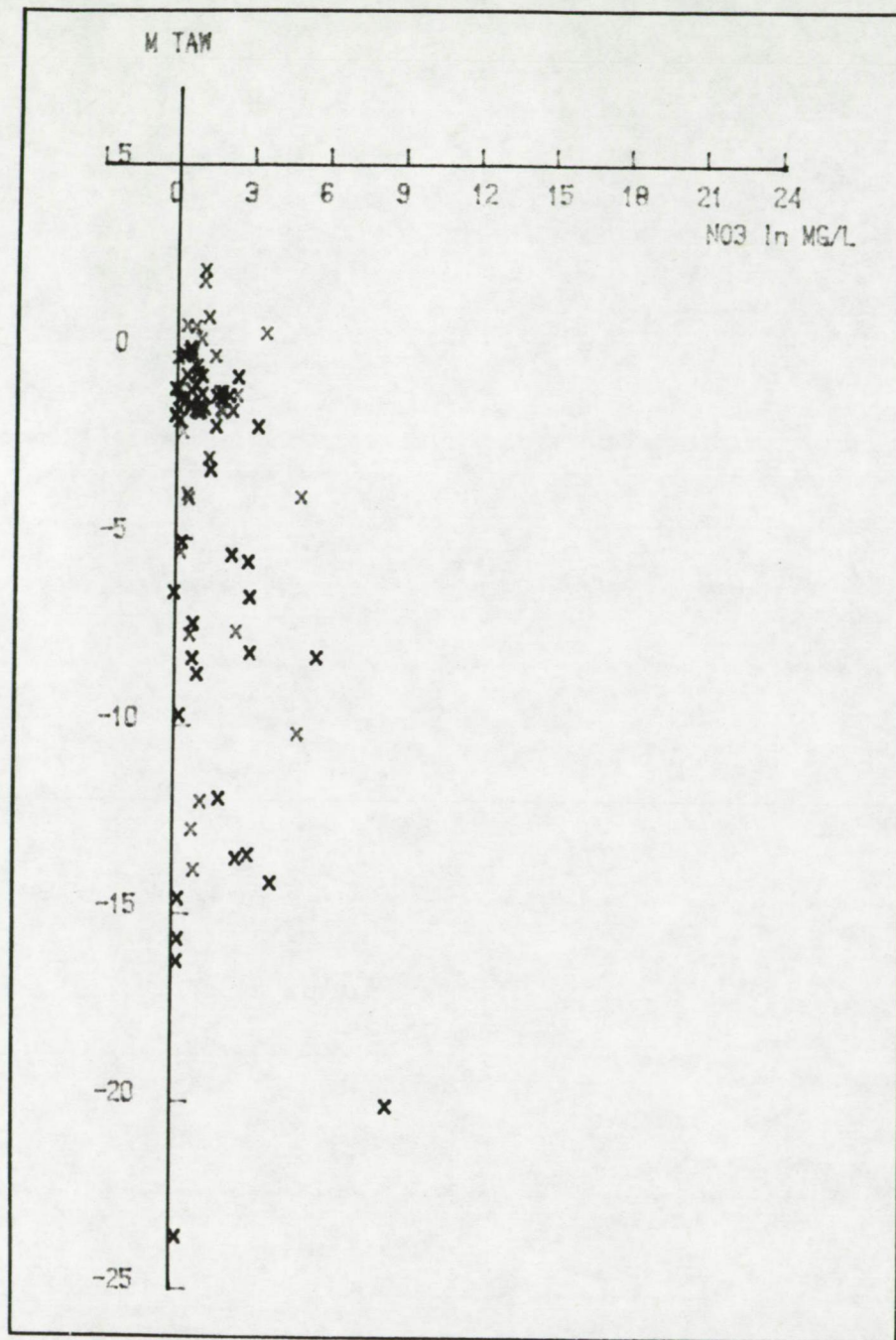


Fig. 5.20 - Het NO_3^- - gehalte in functie van de diepte.

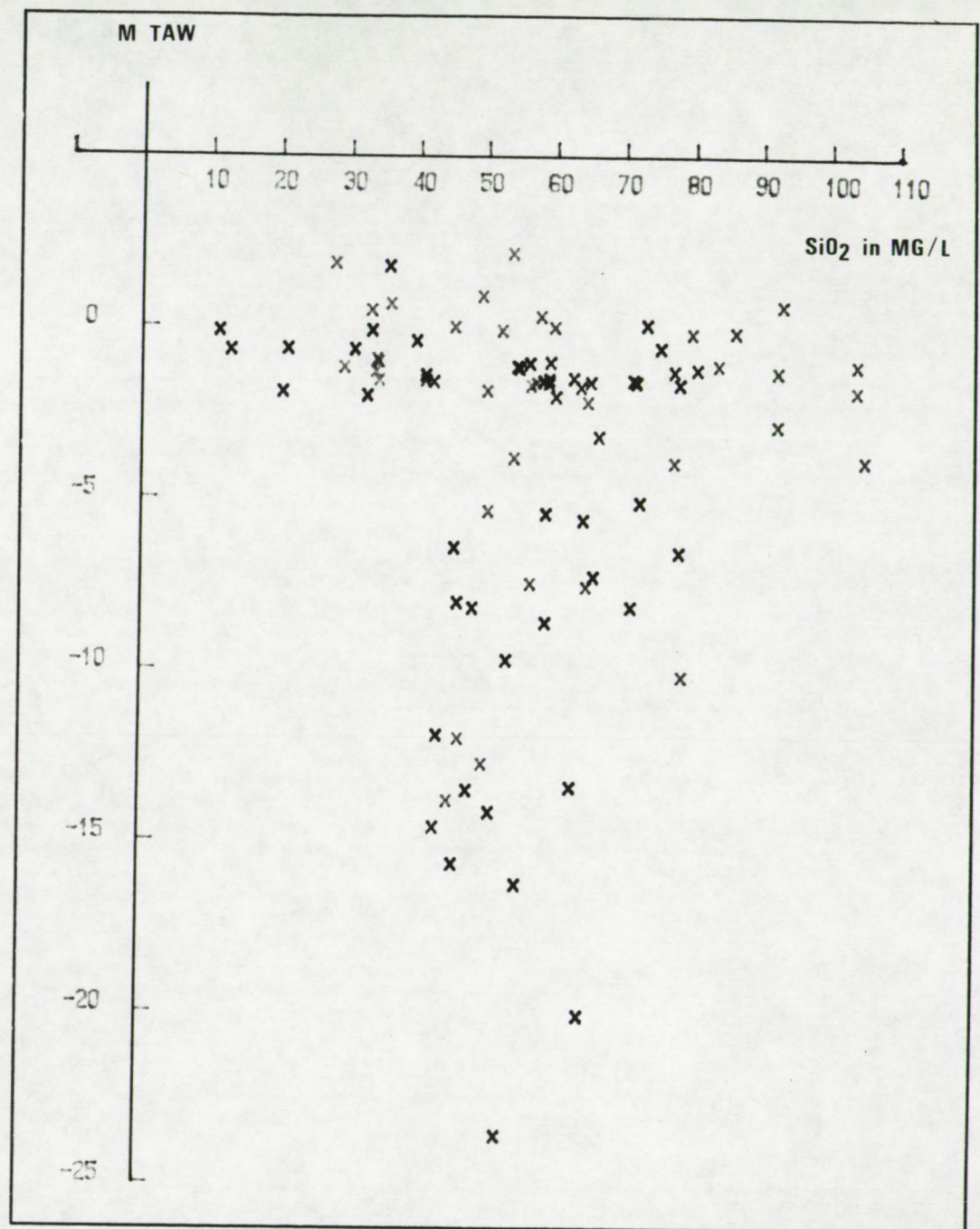


Fig. 5.21 - Het SiO_2 -gehalte in functie van de diepte.

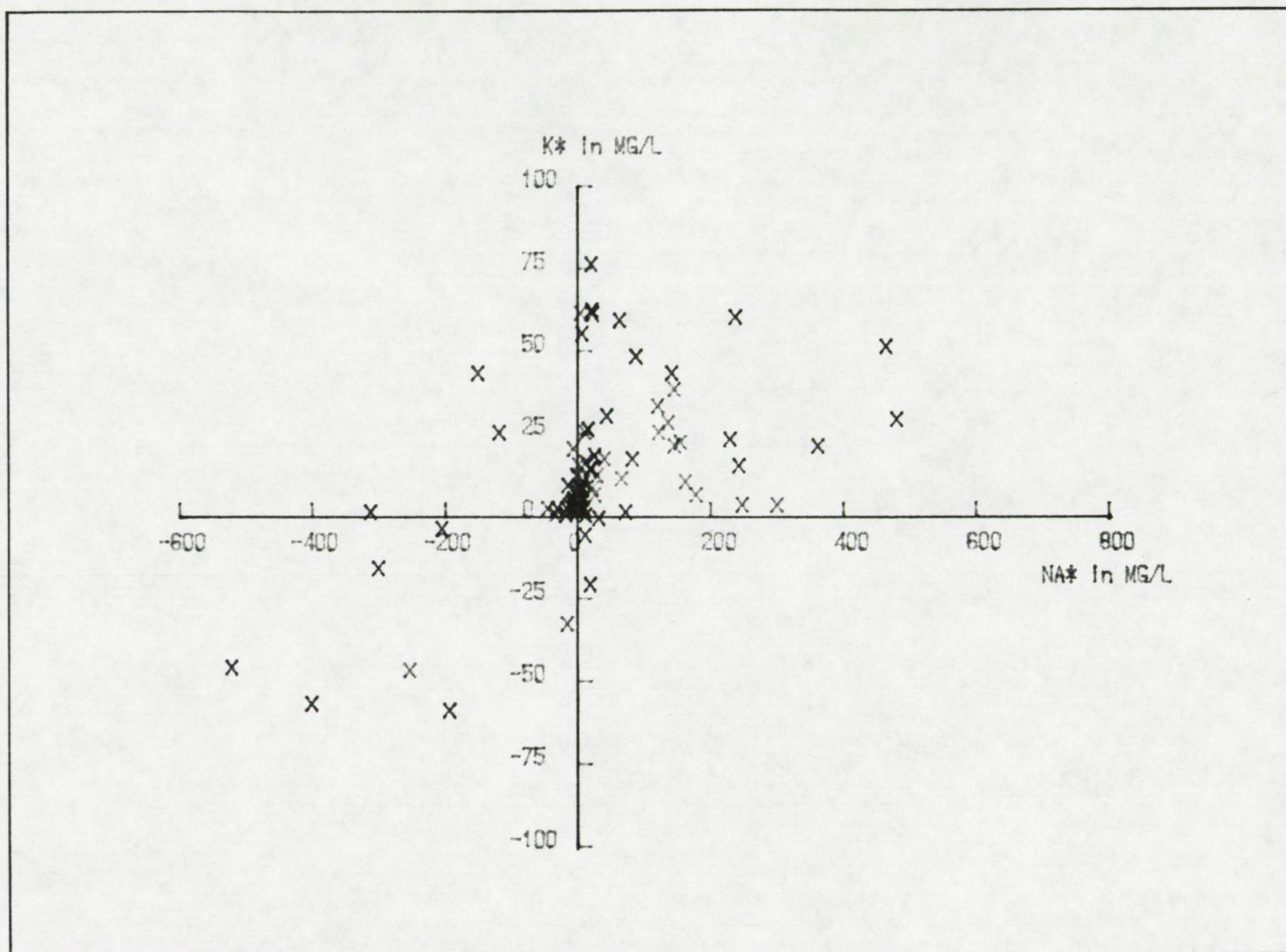


Fig. 5.22 - Het verband tussen Na^* en K^* .

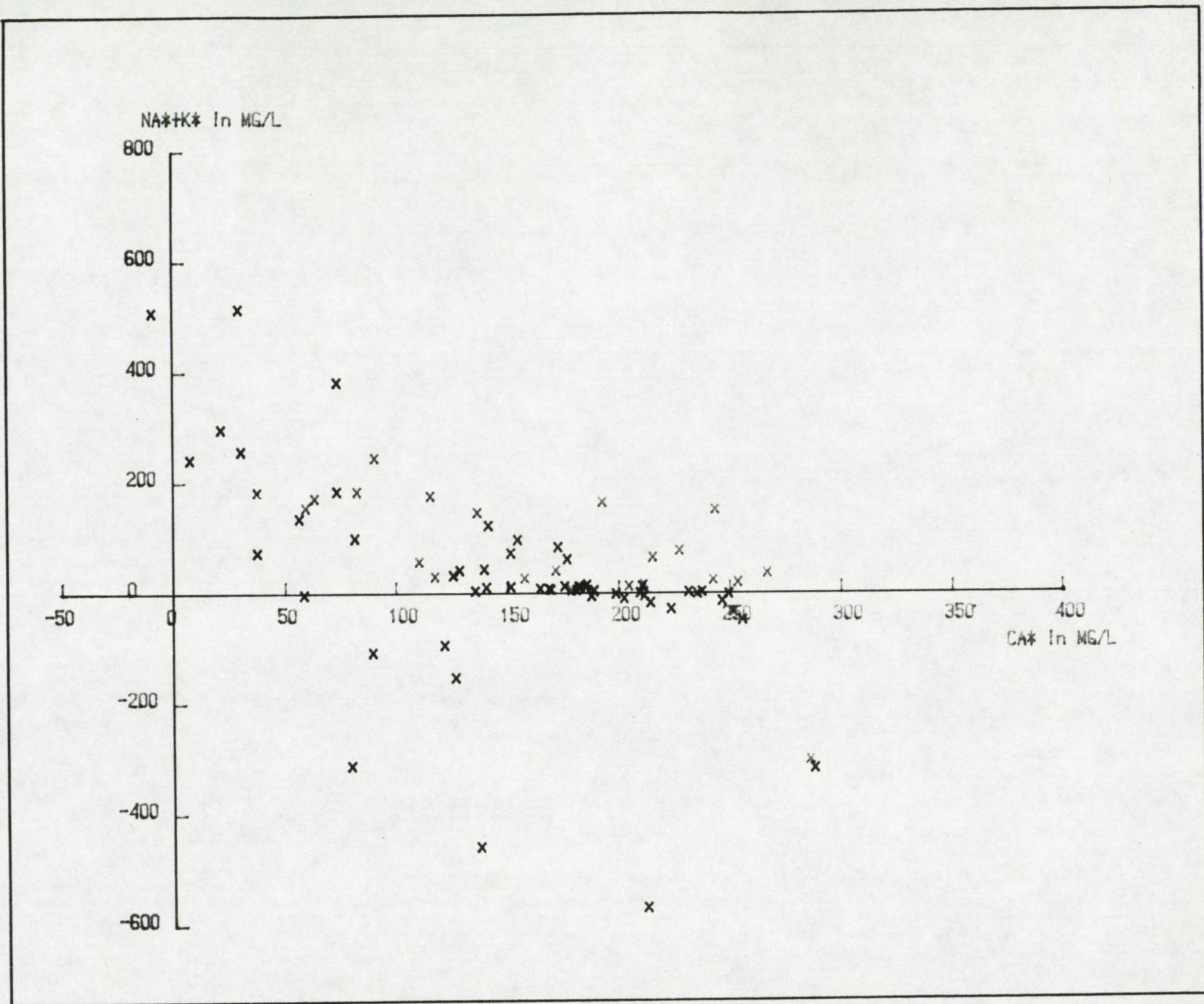


Fig. 5.23 - Het verband tussen $(Na^* + K^*)$ en Ca^* .

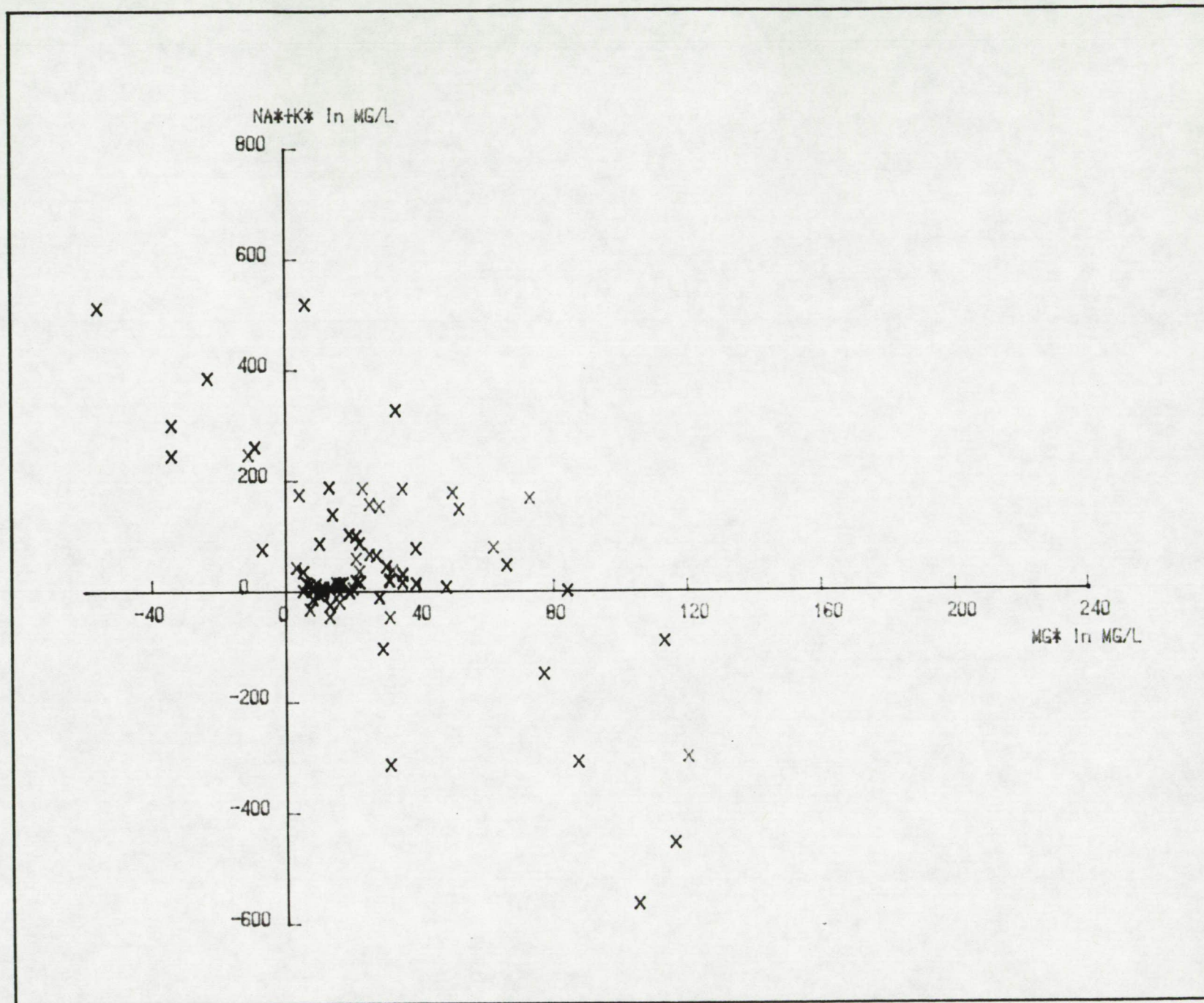


Fig. 5.24 - Het verband tussen $(Na^* + K^*)$ en Mg^* .

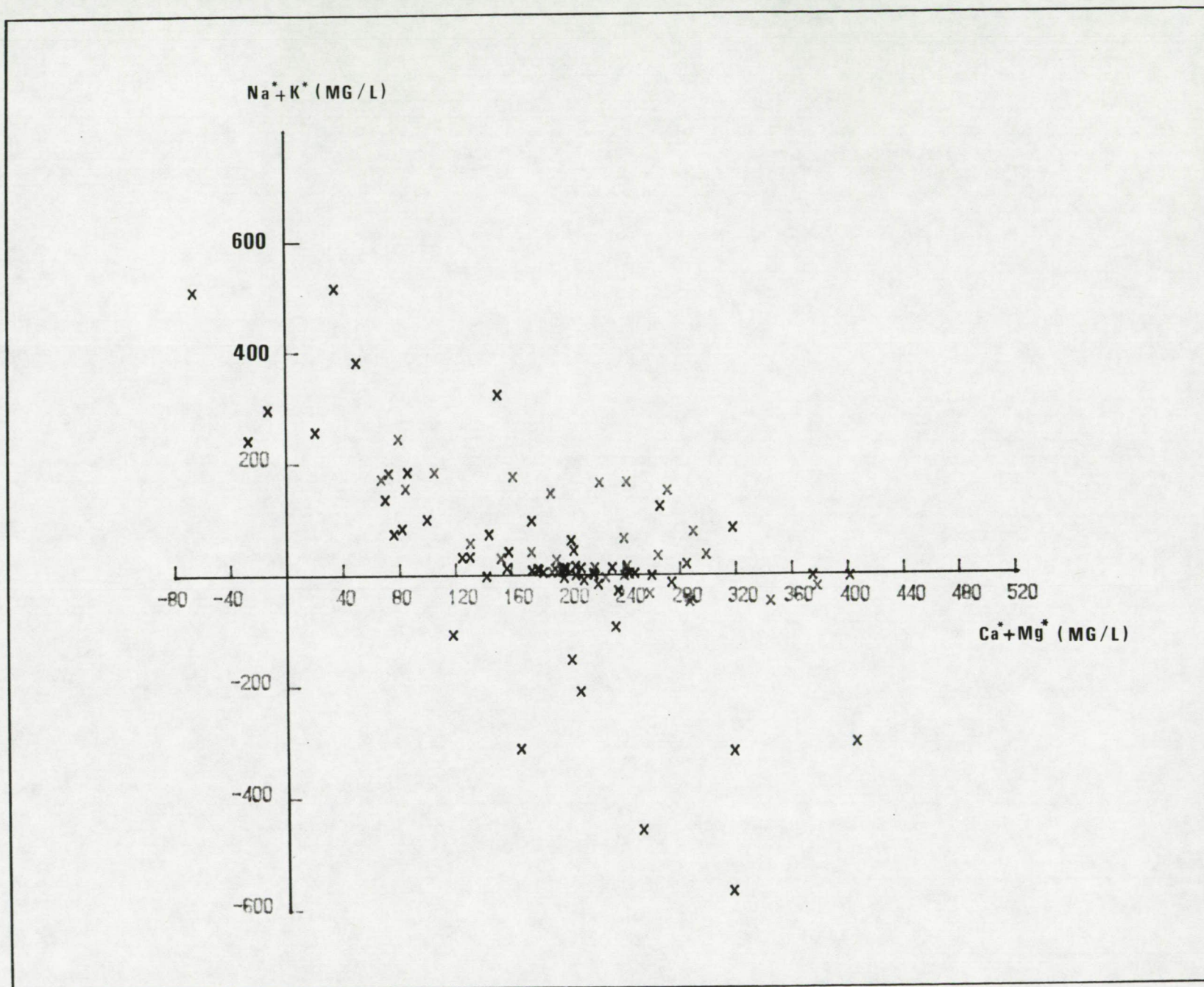


Fig. 5.25 - Het verband tussen ($\text{Na}^* + \text{K}^*$) en ($\text{Ca}^* + \text{Mg}^*$).

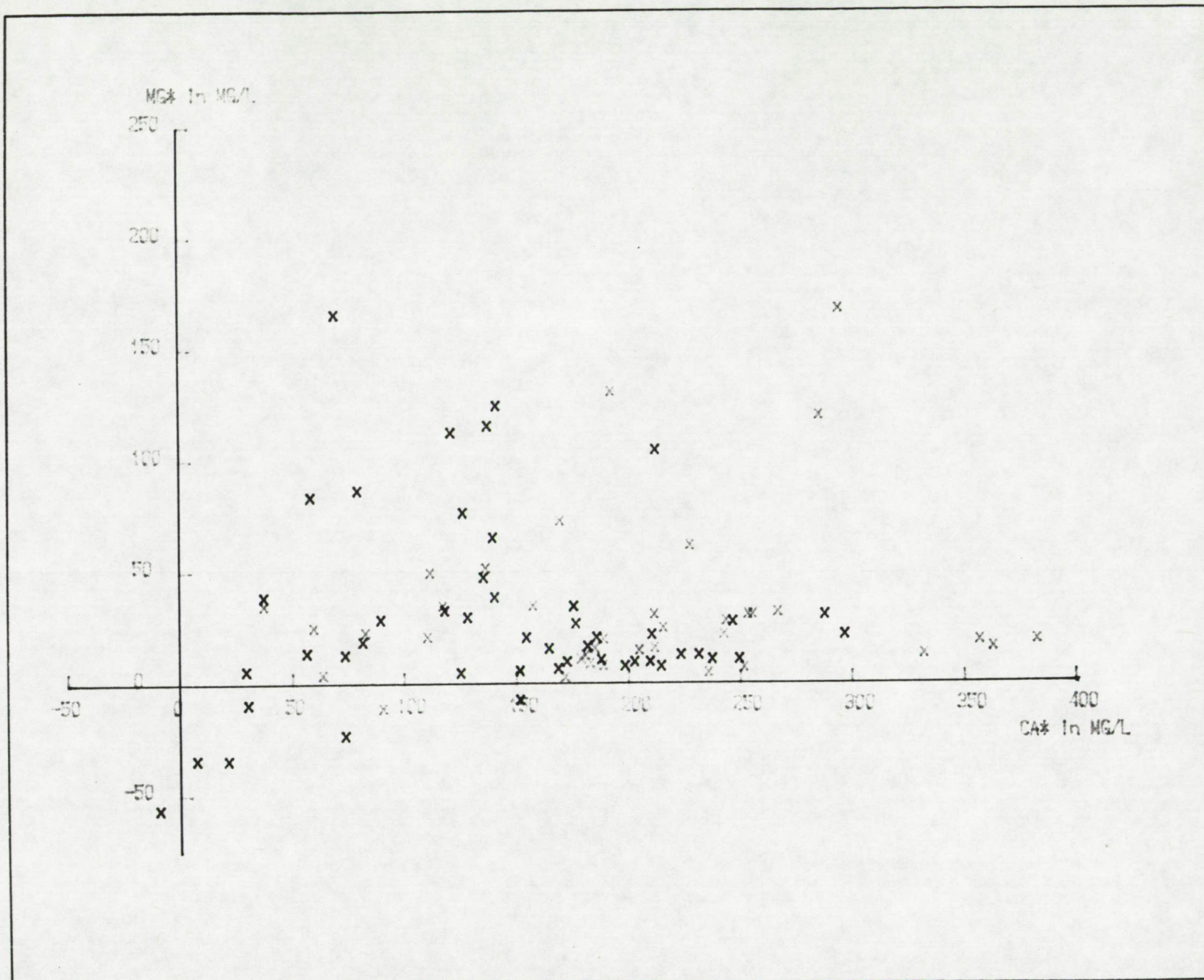


Fig. 5.26 - Het verband tussen Ca* en Mg*.

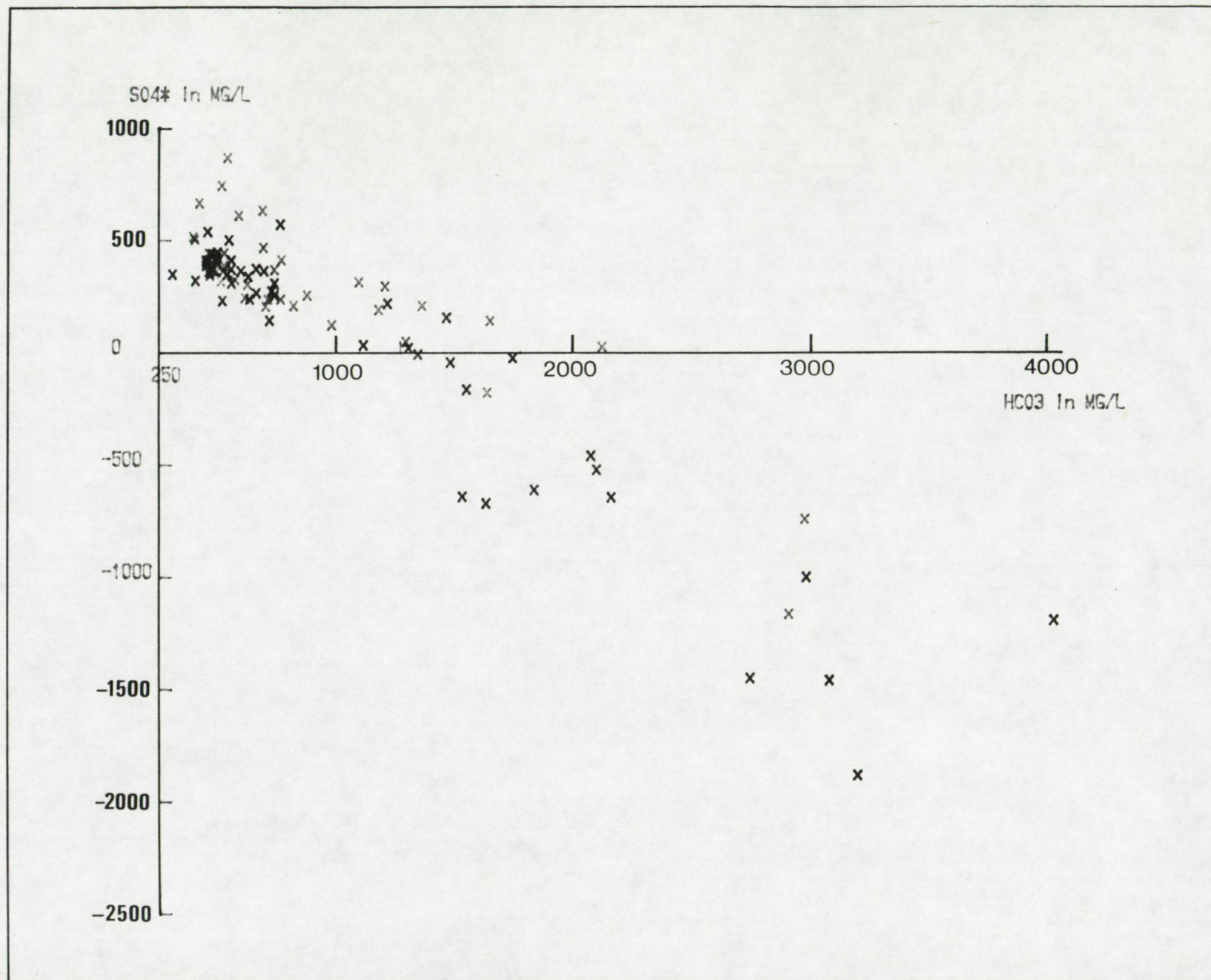


Fig. 5.27 - Het verband tussen SO_4^* en HCO_3^- .

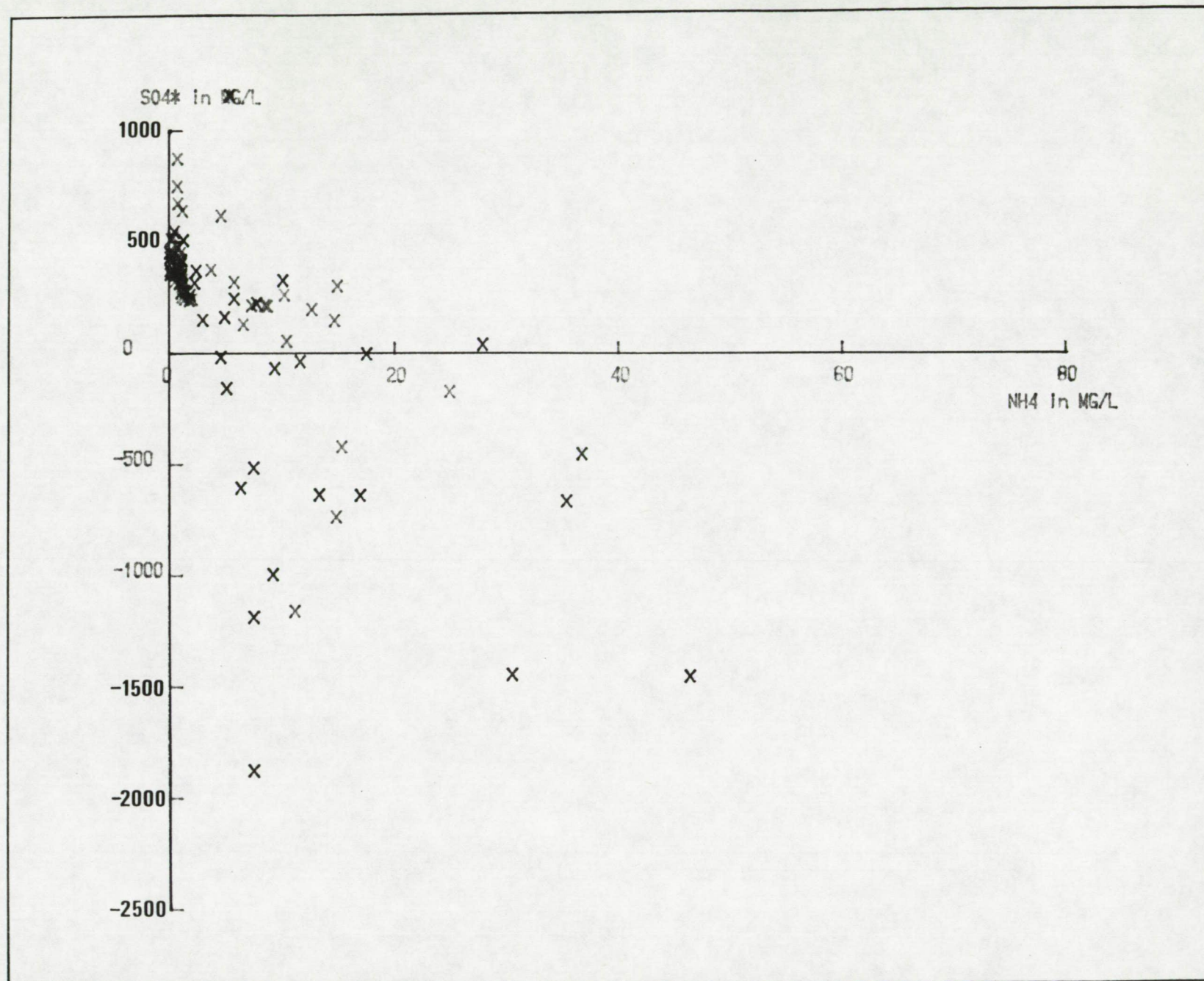


Fig. 5.28 - Het verband tussen SO_4^* en NH_4^- .

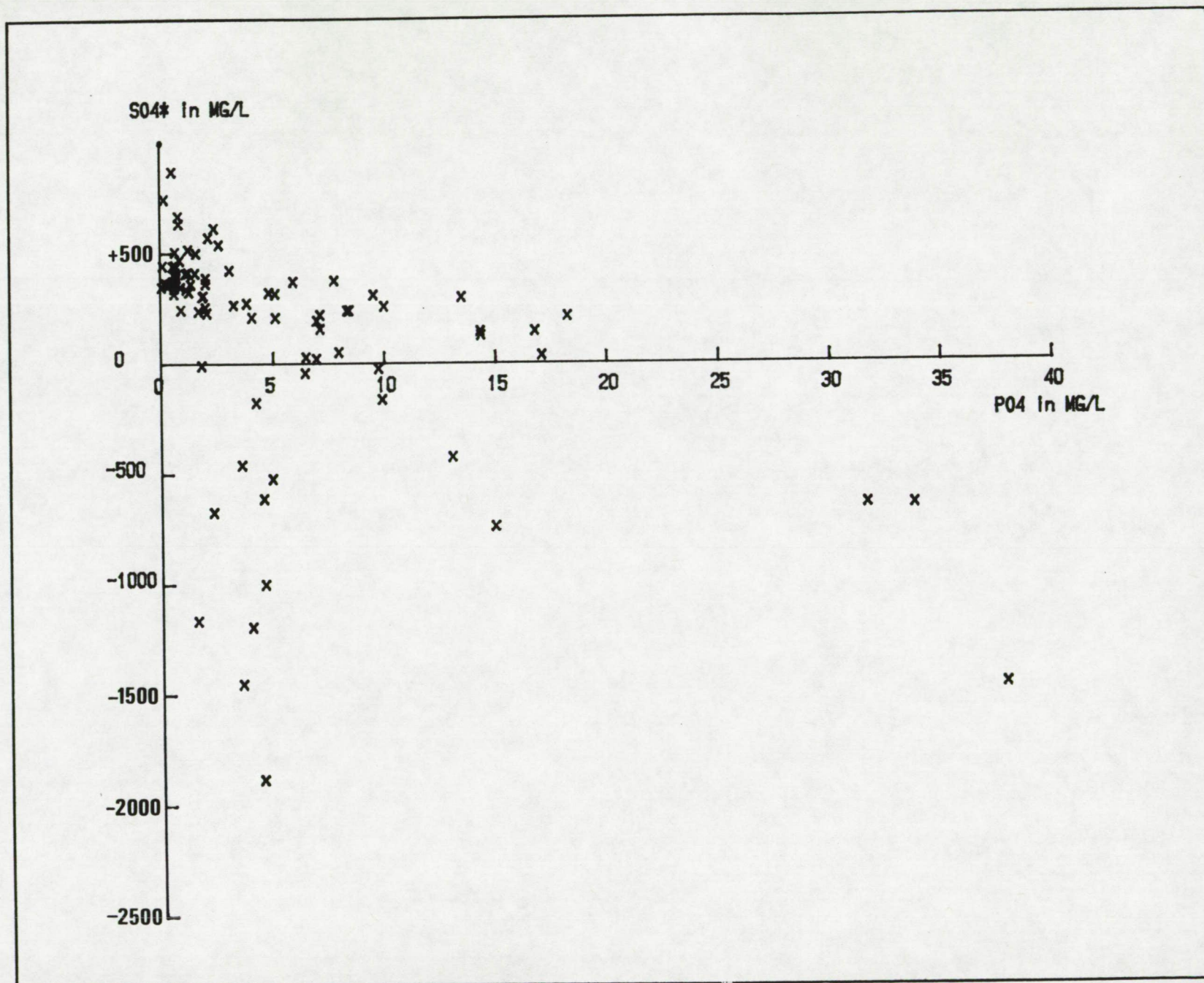


Fig. 5.29 - Het verband tussen SO_4^* en PO_4^{3-} .

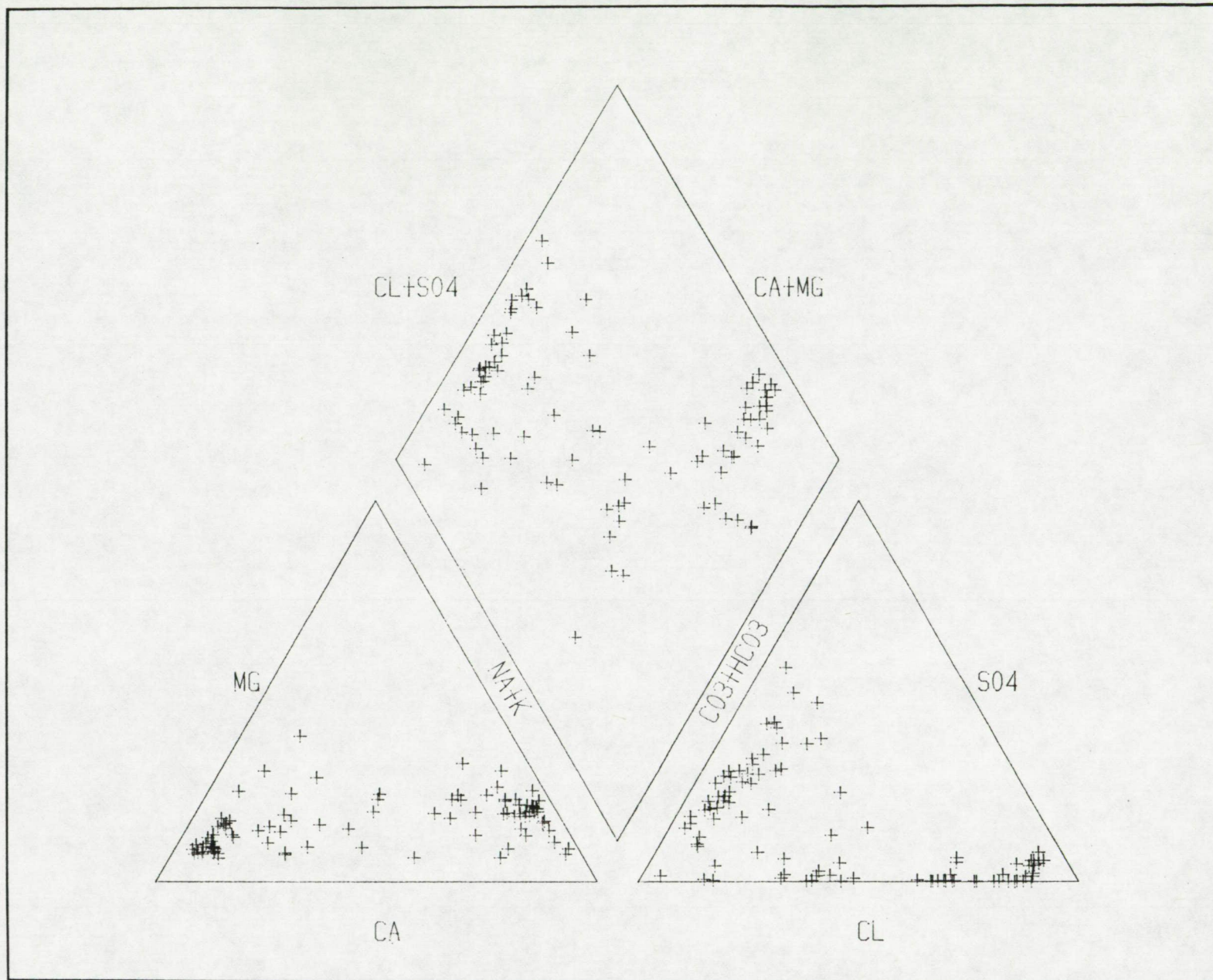


Fig. 5.30 - Piperdiagram van het globale analysebestand.

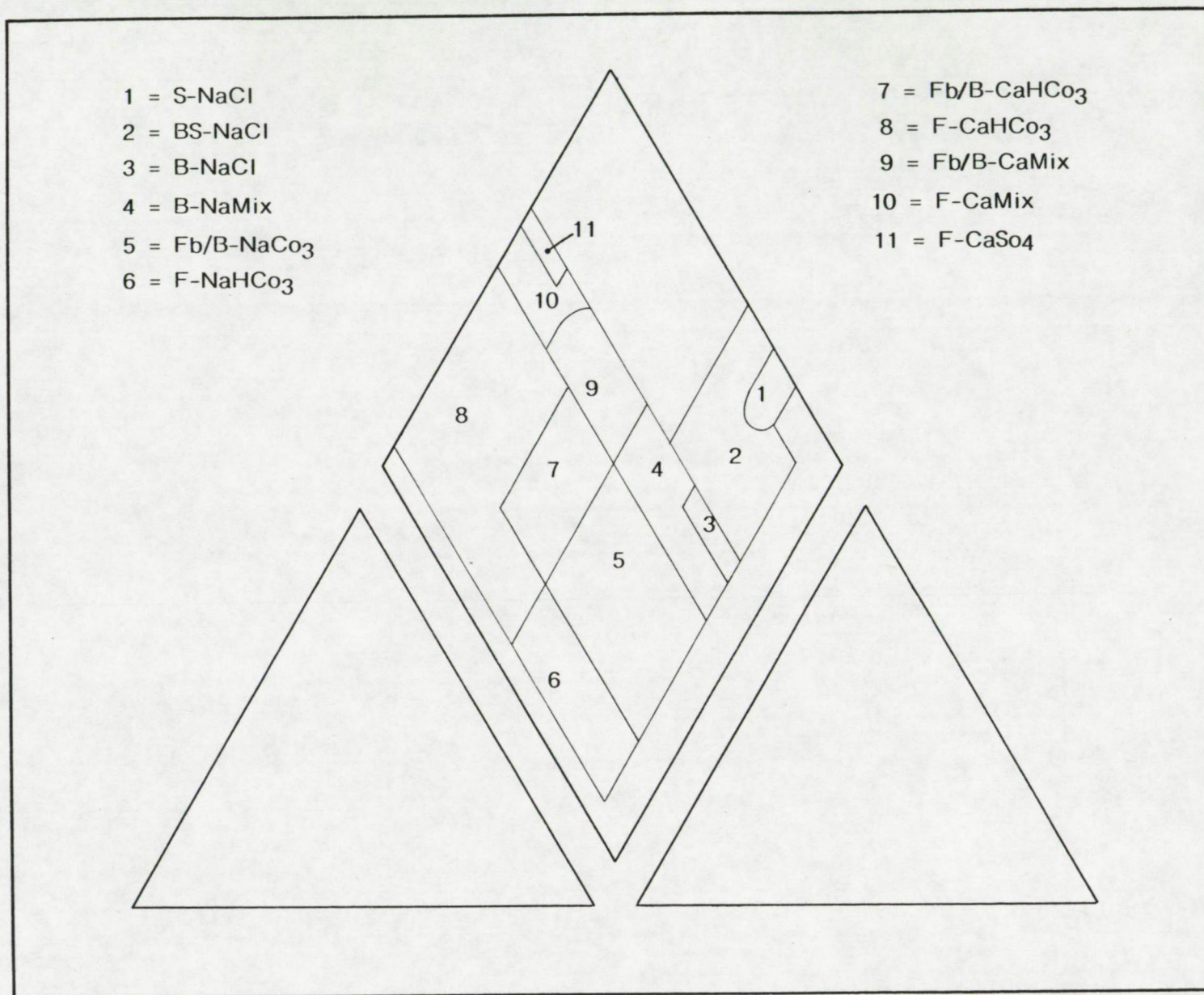


Fig. 5.31 - Begrenzing van de watertypesvolgens Stuyfzand in het Piperdiagram.

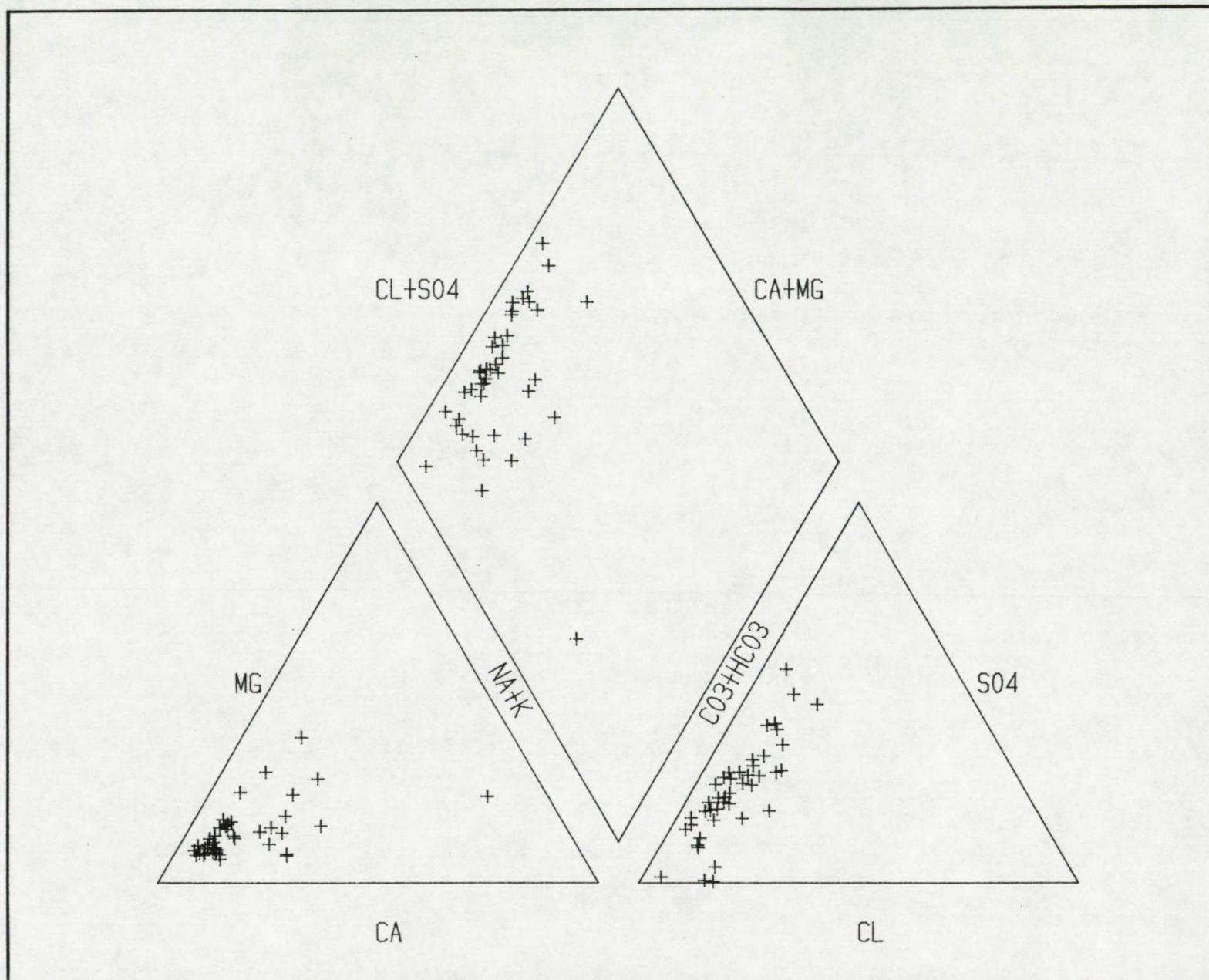


Fig. 5.32 - Piperdiagram van de zoete waters.

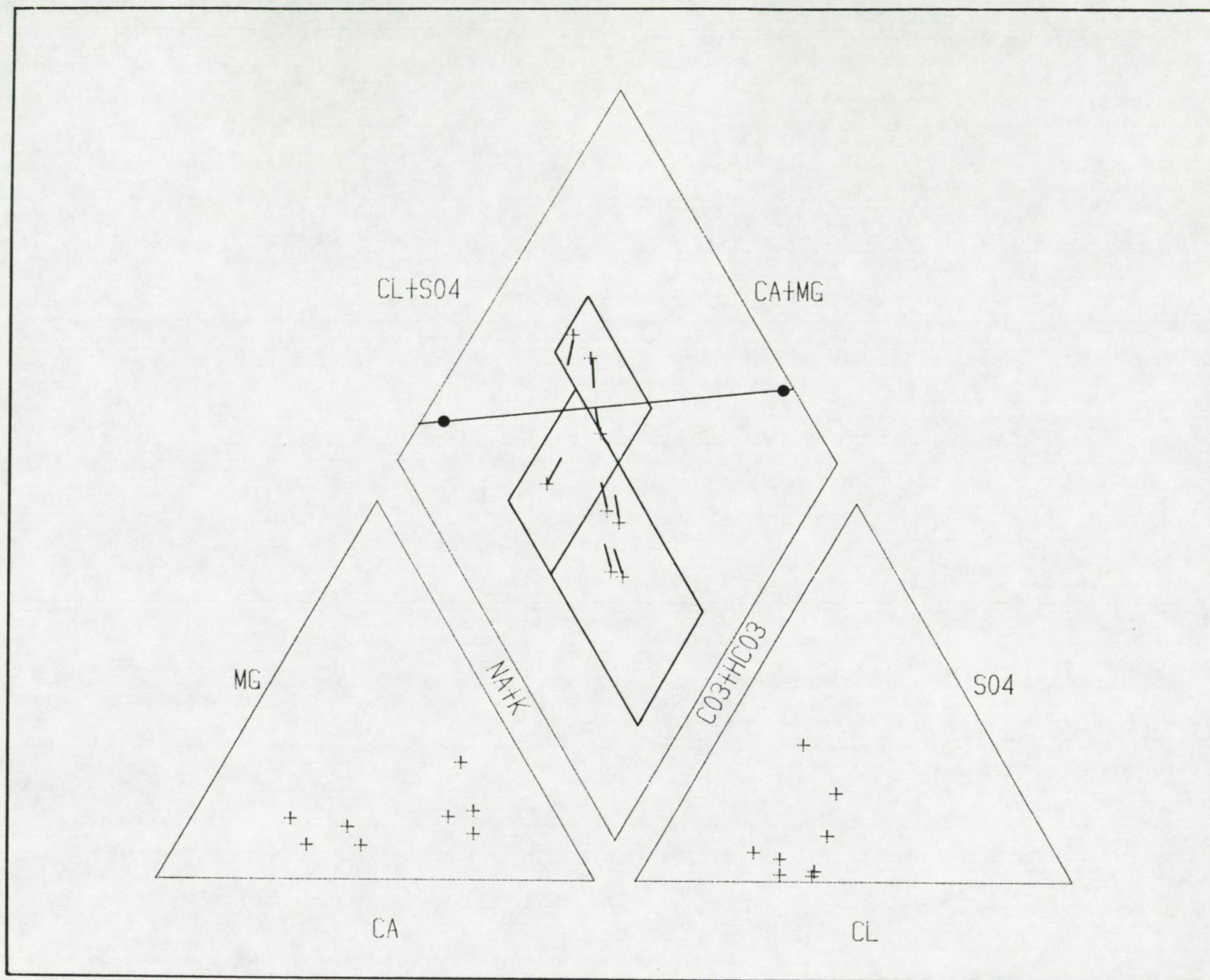


Fig. 5.33 - Piperdiagram van de zoet-brakke waters met aanduiding van de positie van de waterst alen op de menglijn tussen zoet en zout water.

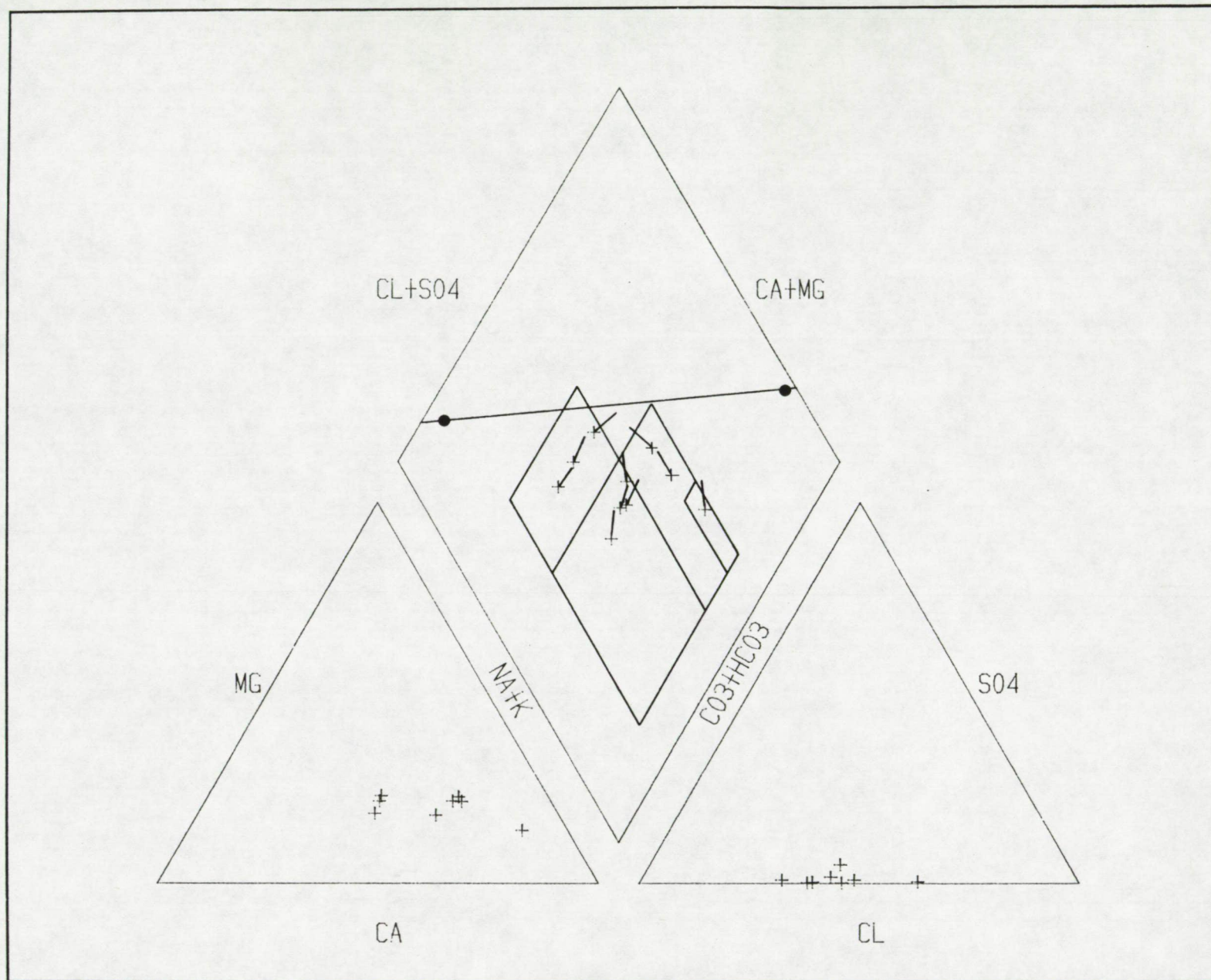


Fig. 5.34 - Piperdiagram van de brakke waters met aanduiding van de positie van de waterstalen op de menglijn tussen zoet en zout water.

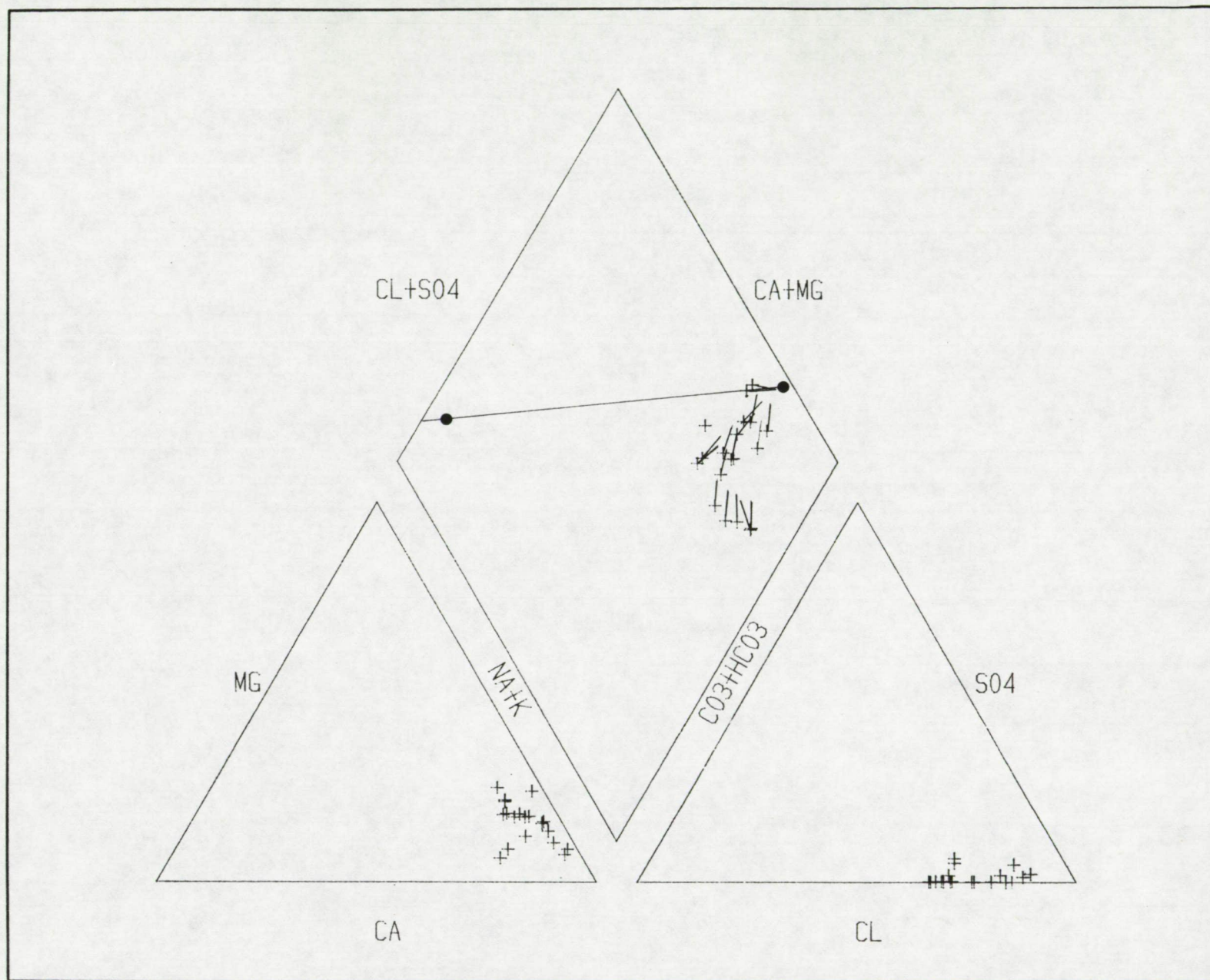


Fig. 5.35 - Piperdiagram van de brak-zoute waters met aanduiding van de positie van de waterst alen op de menglijn tussen zoet en zout water.

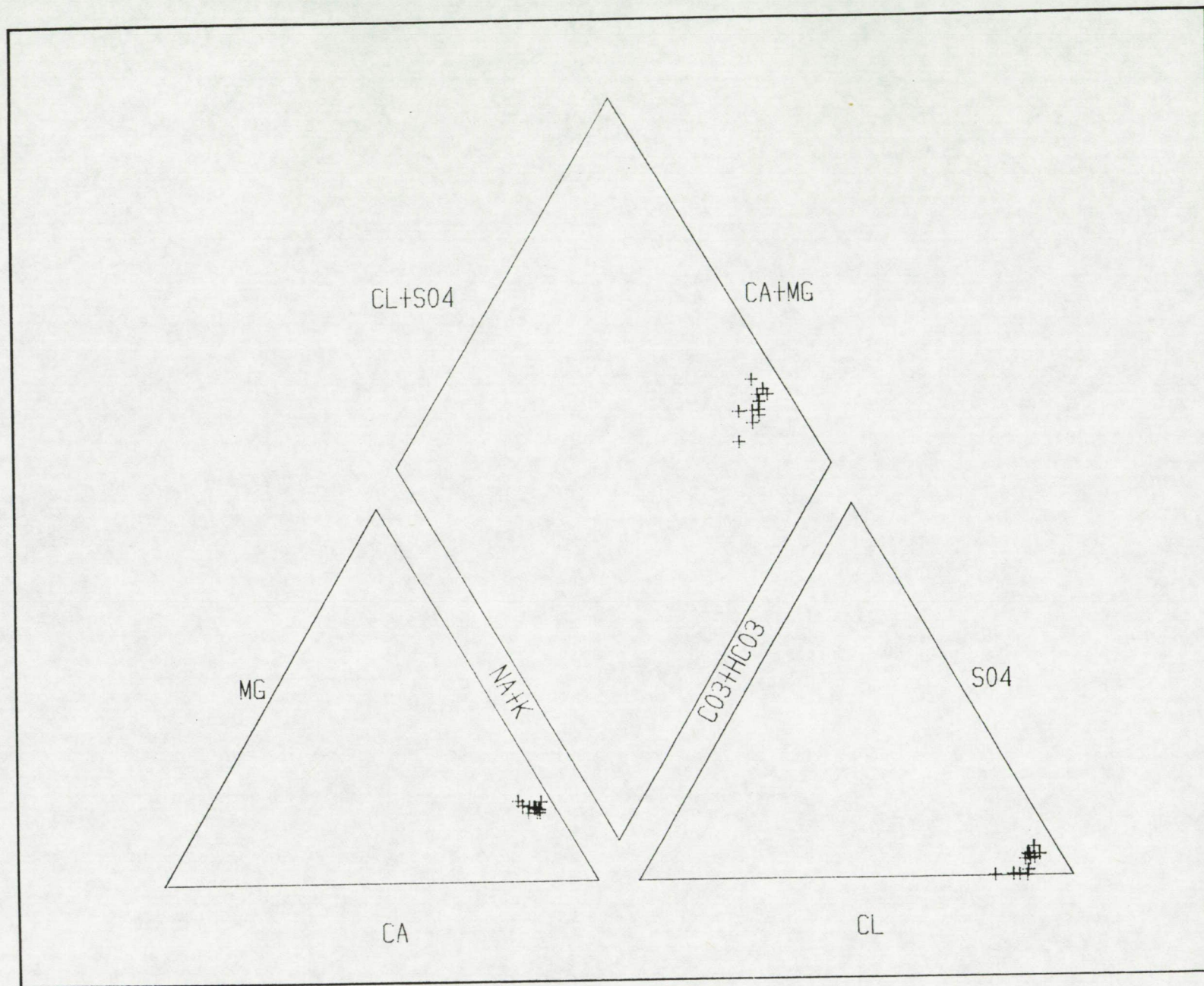


Fig. 5.36 - Piperdiagram van de zoute waters.

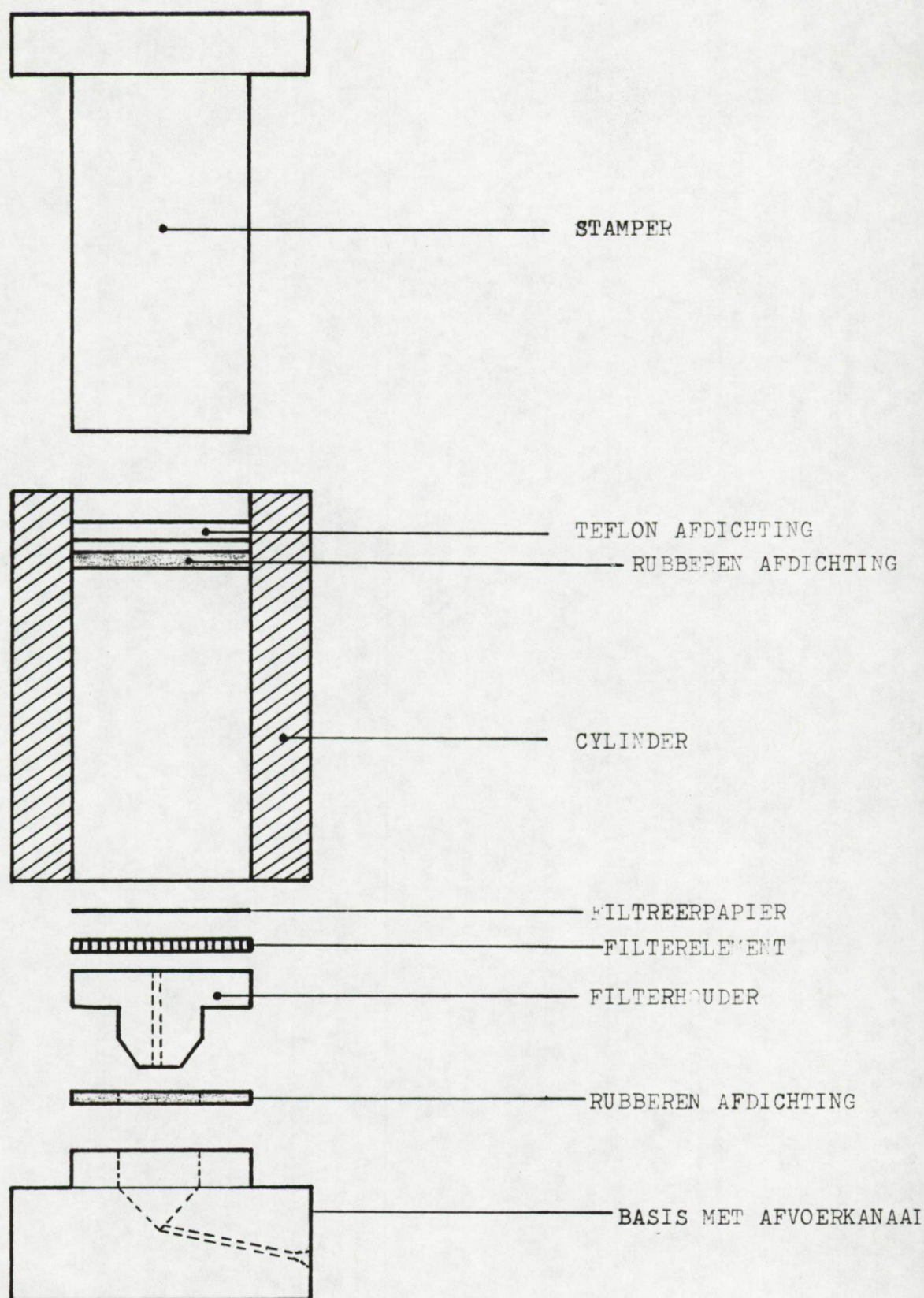


Fig. 5.57. - Onderdelen van het extractietoestel aangewend voor het
uitpersen van porienwaters uit grondmonsters (MANHEIM, 1966).

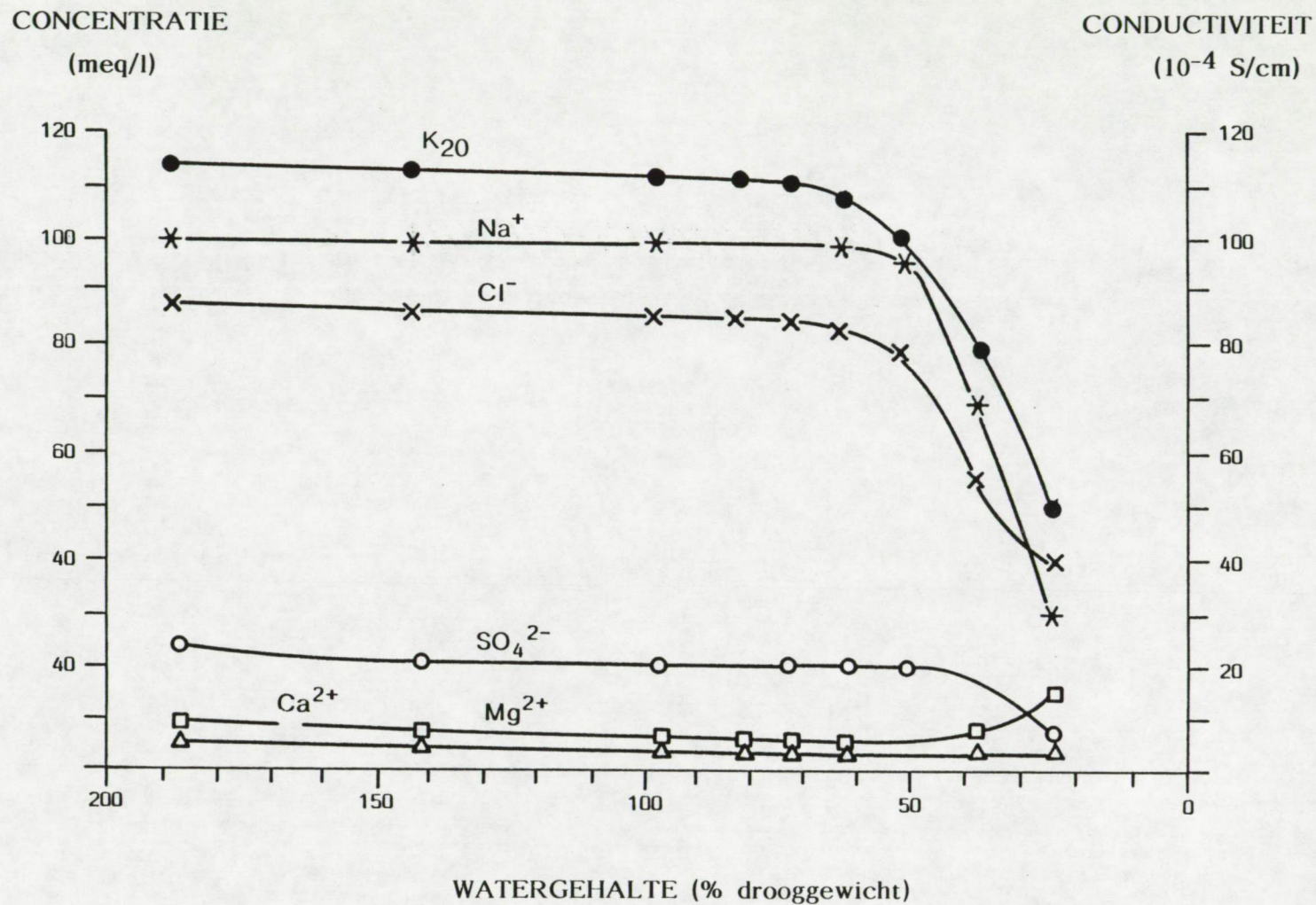


Fig. 5.38 - Invloed van de druk op de samenstelling van de uitgeperste porienvloeistof (KRIUKOV & KOMAROVA, 1956).

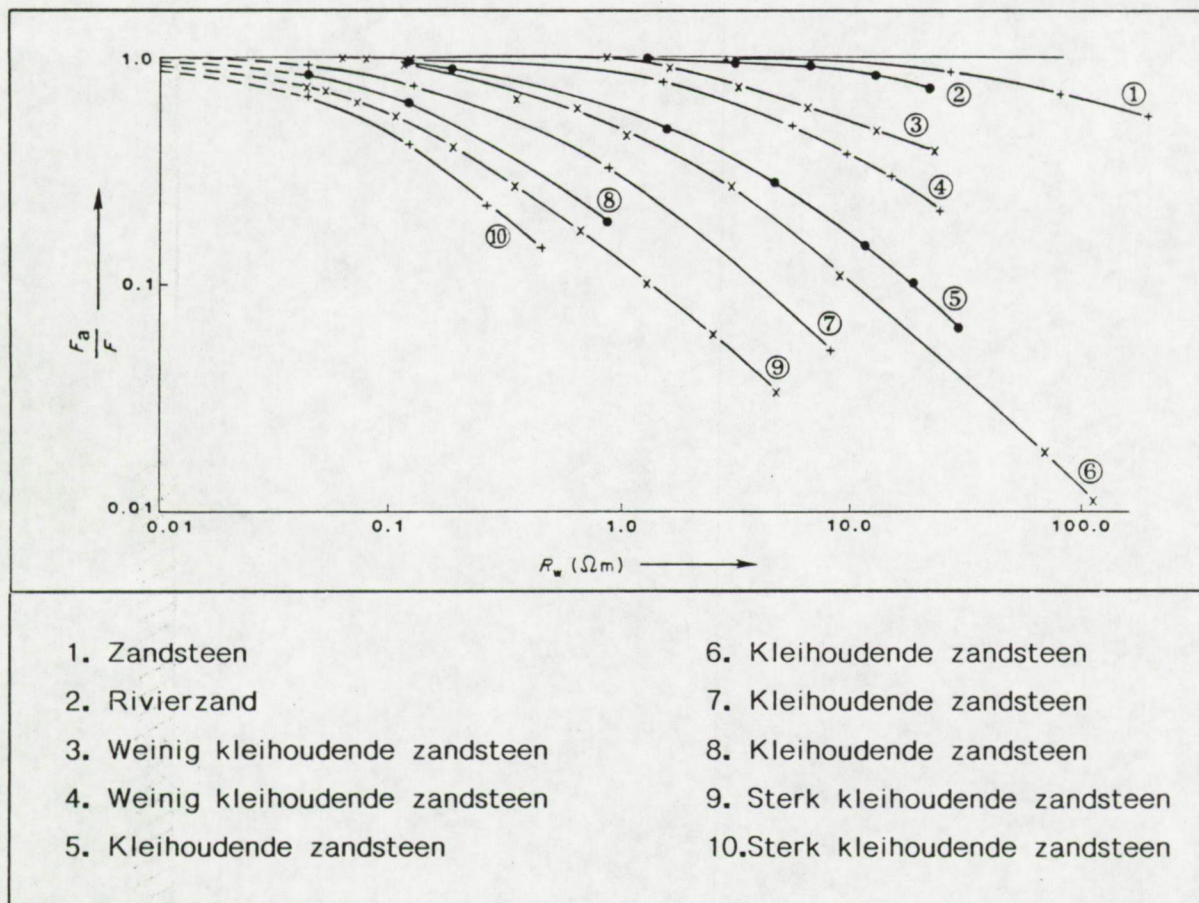


Fig. 5.39 - Verhouding F_a/F t.o.v. de poriënwaterresistiviteit ρ_w (WORTHINGTON, 1986)

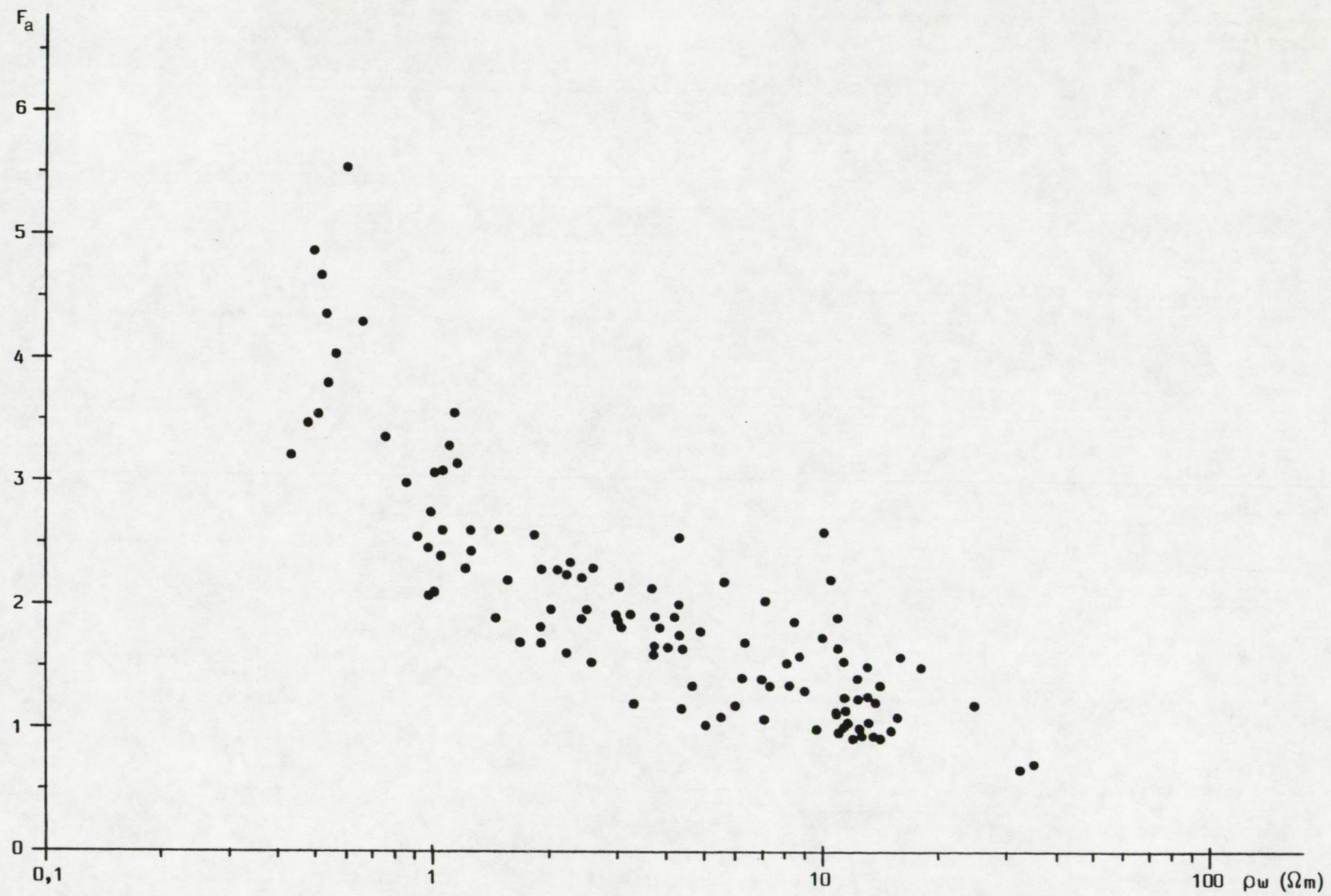


Fig. 5.40 - Relatie tussen de formatiefactor F_a van fijnkorrelige afzettingen en de porïenwaterresistiviteit ρ_w (semi-logaritmisch).

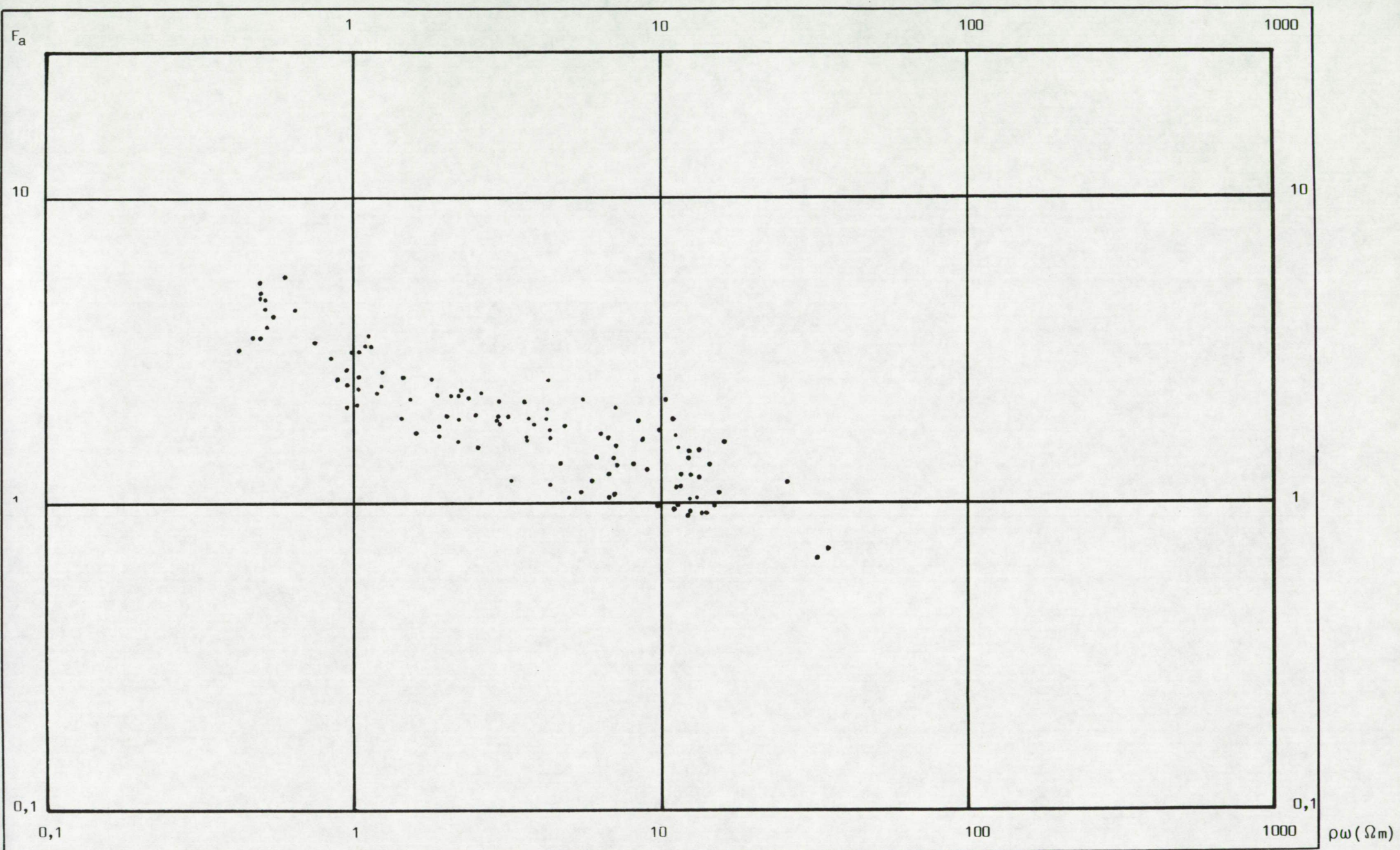


Fig. 5.41 - Variatie van de schijnbare formatiefactor F_a in functie van de porienwaterresistiviteit voor fijnkorrelige afzettingen.

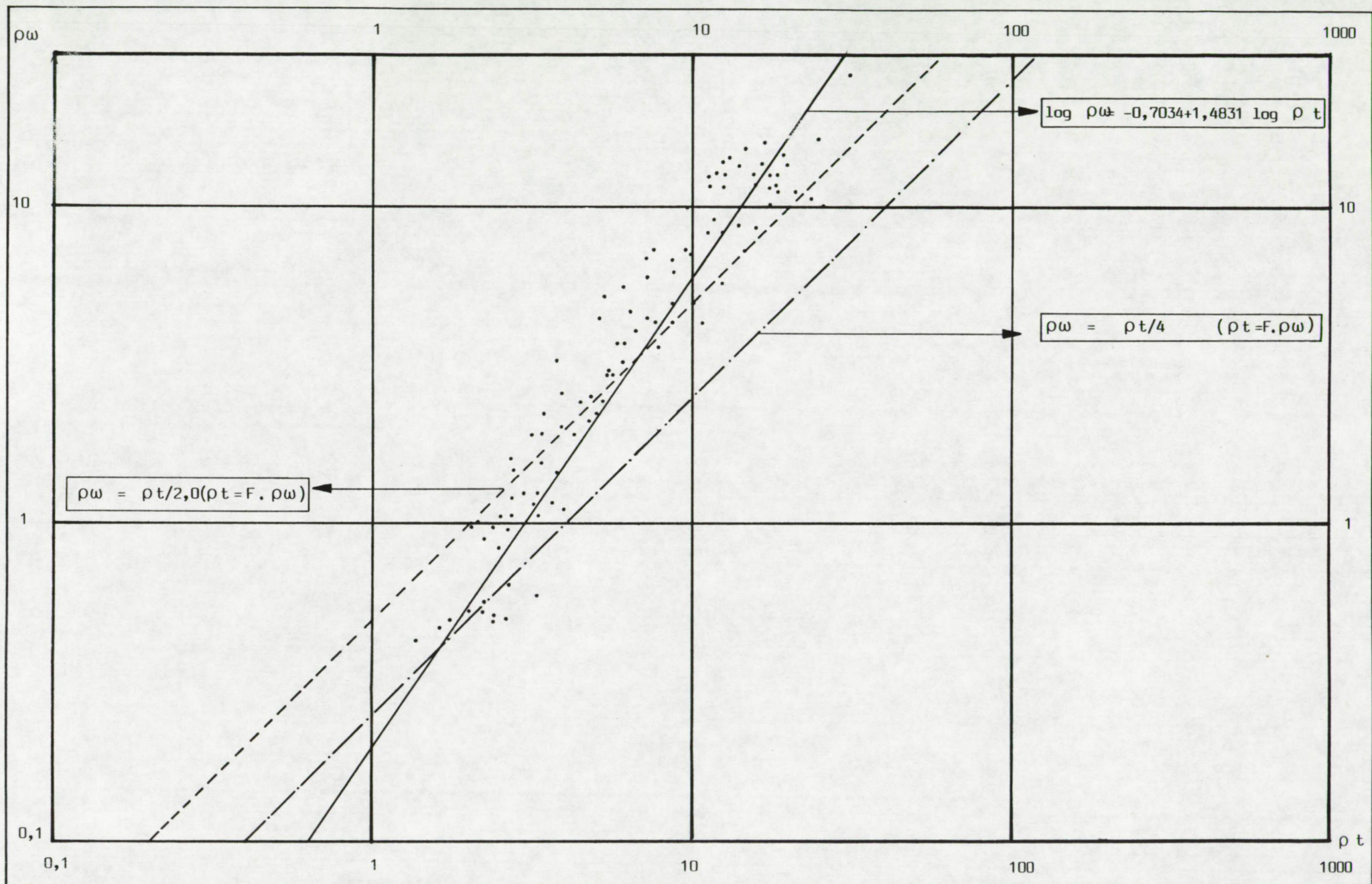


Fig. 5.42 - Relatie tussen formatieresistiviteit ρ_t en poriënwaterresistiviteit ρ_w voor fijnkorrelige afzettingen.

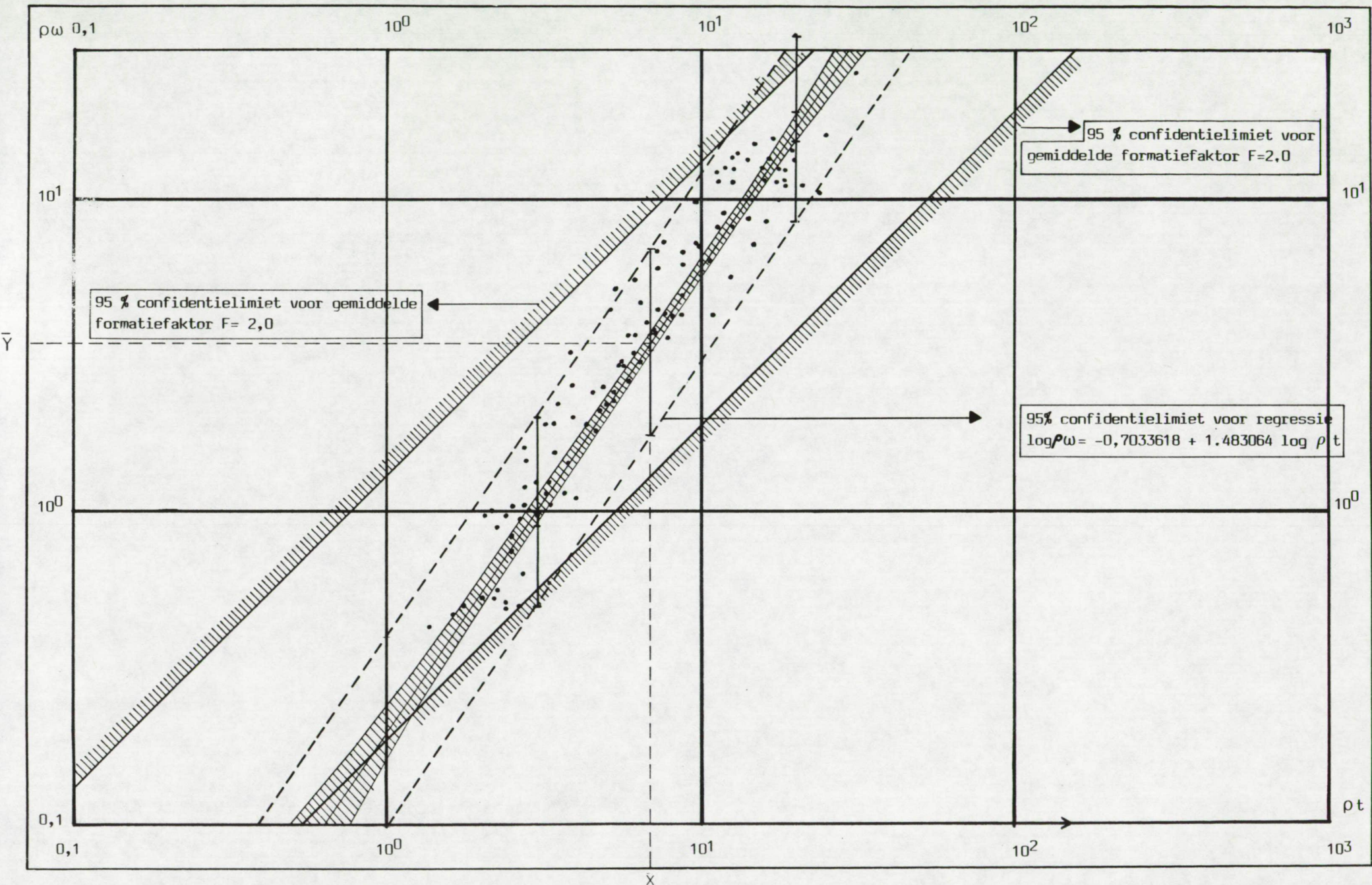


Fig. 5.43 - Nauwkeurighedsintervallen voor de relatie tussen de formatieresistiviteit ρ_t en de porïenwaterresistiviteit ρ_w voor fijnkorrelige afzettingen.

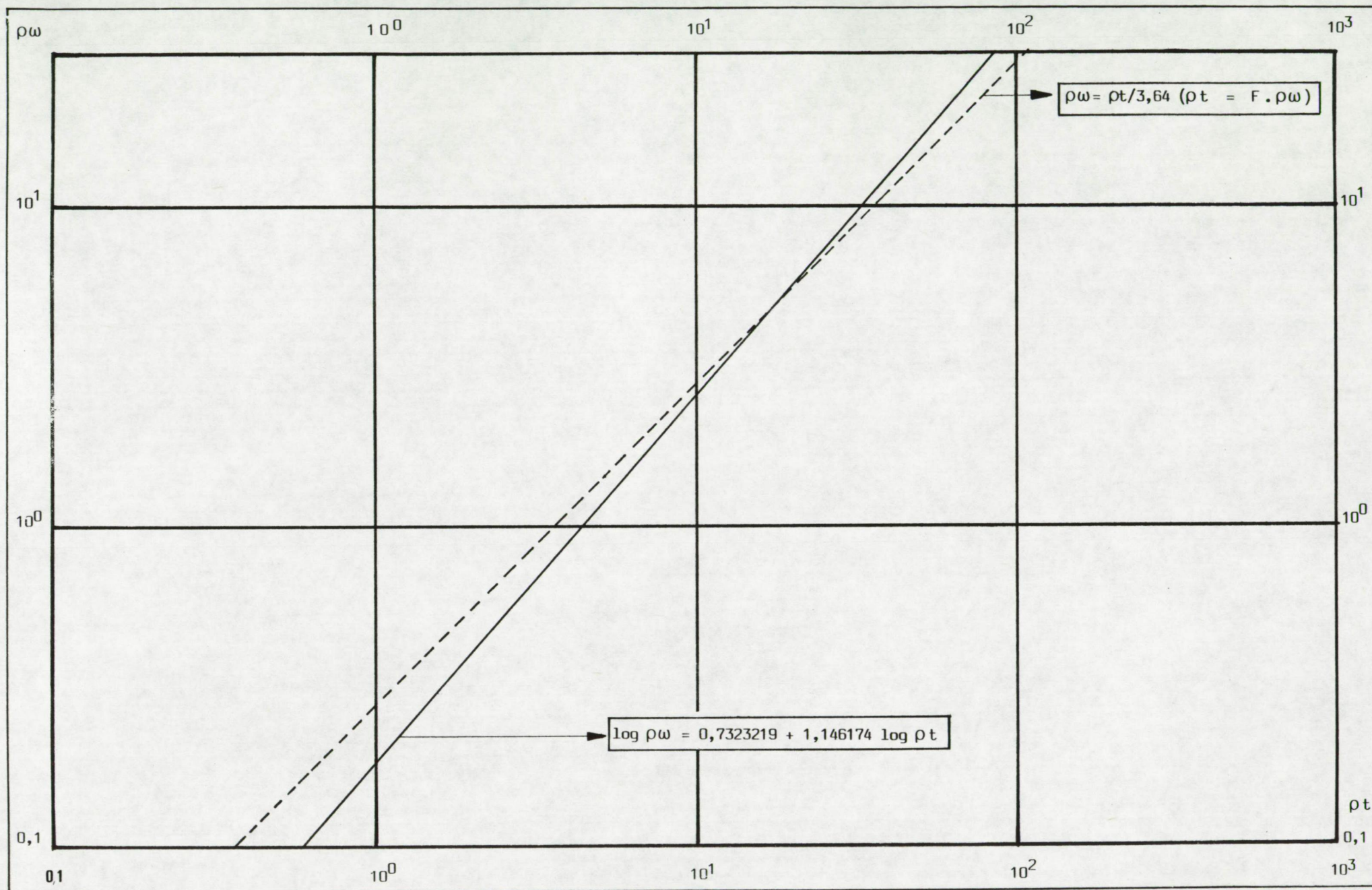


Fig. 5.44 - Relatie tussen de formatieresistiviteit ρ_t en de poriënwaterresistiviteit ρ_ω voor grofkorrelige afzettingen

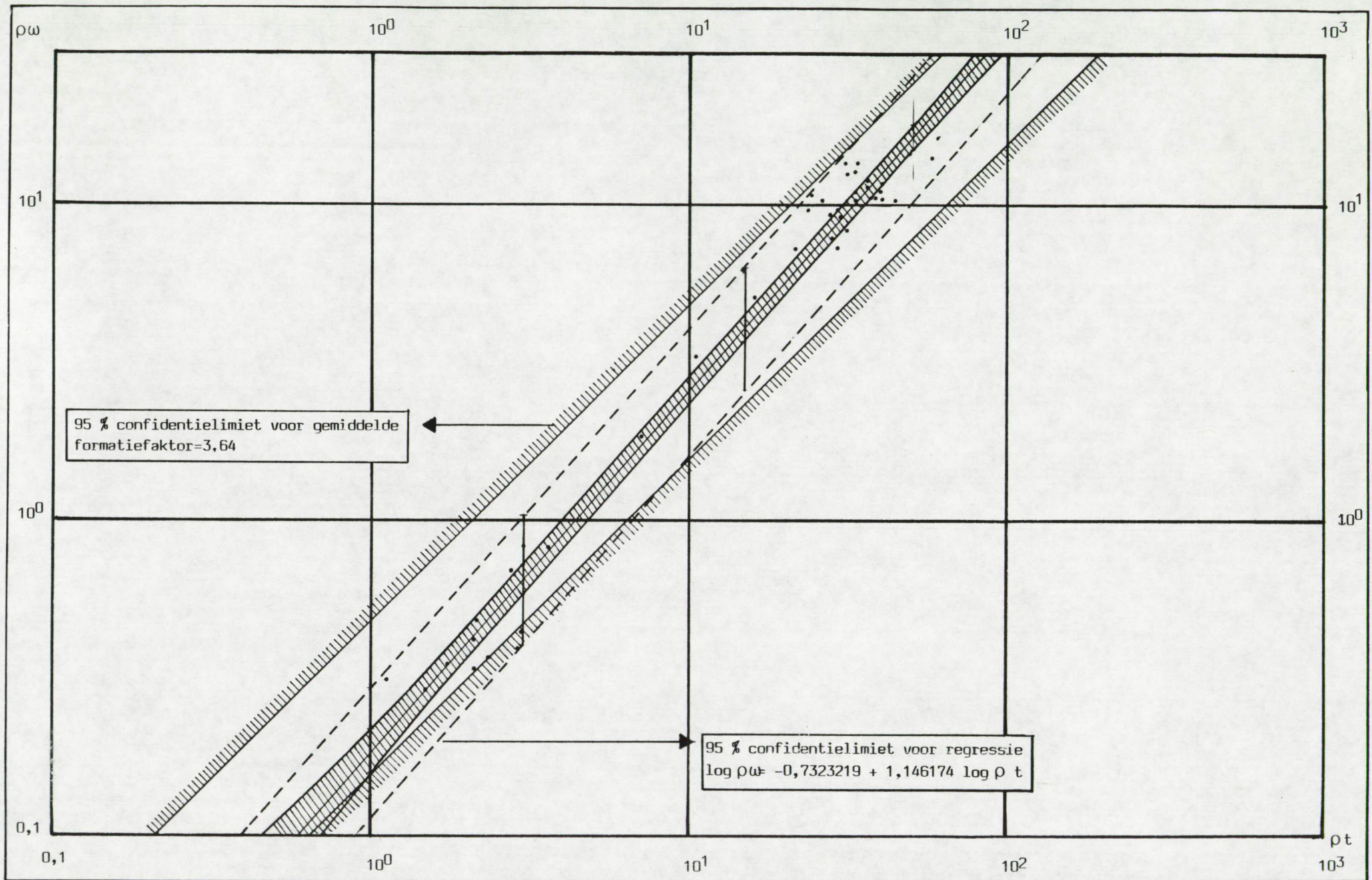


Fig. 5.45 - Nauwkeurighedsintervallen voor de relatie tussen de formatieresistiviteit ρ_t en de poriënwaterresistiviteit ρ_w voor grofkorrelige afzettingen.

LEGENDE BIJ DE FIGUREN 5.46 TOT 5.55

LEGENDE		
□	Kalium	K^{+}
△	Calcium	Ca^{2+}
○	Magnesium	Mg^{2+}
+	Natrium	Na^{+}
×	Sulfaat	SO_4^{2-}
■	Bicarbonaat	HCO_3^{-}
●	Chloride	Cl^{-}
▲	Totale hardheid	TH
◇	Totaal opgeloste stoffen	

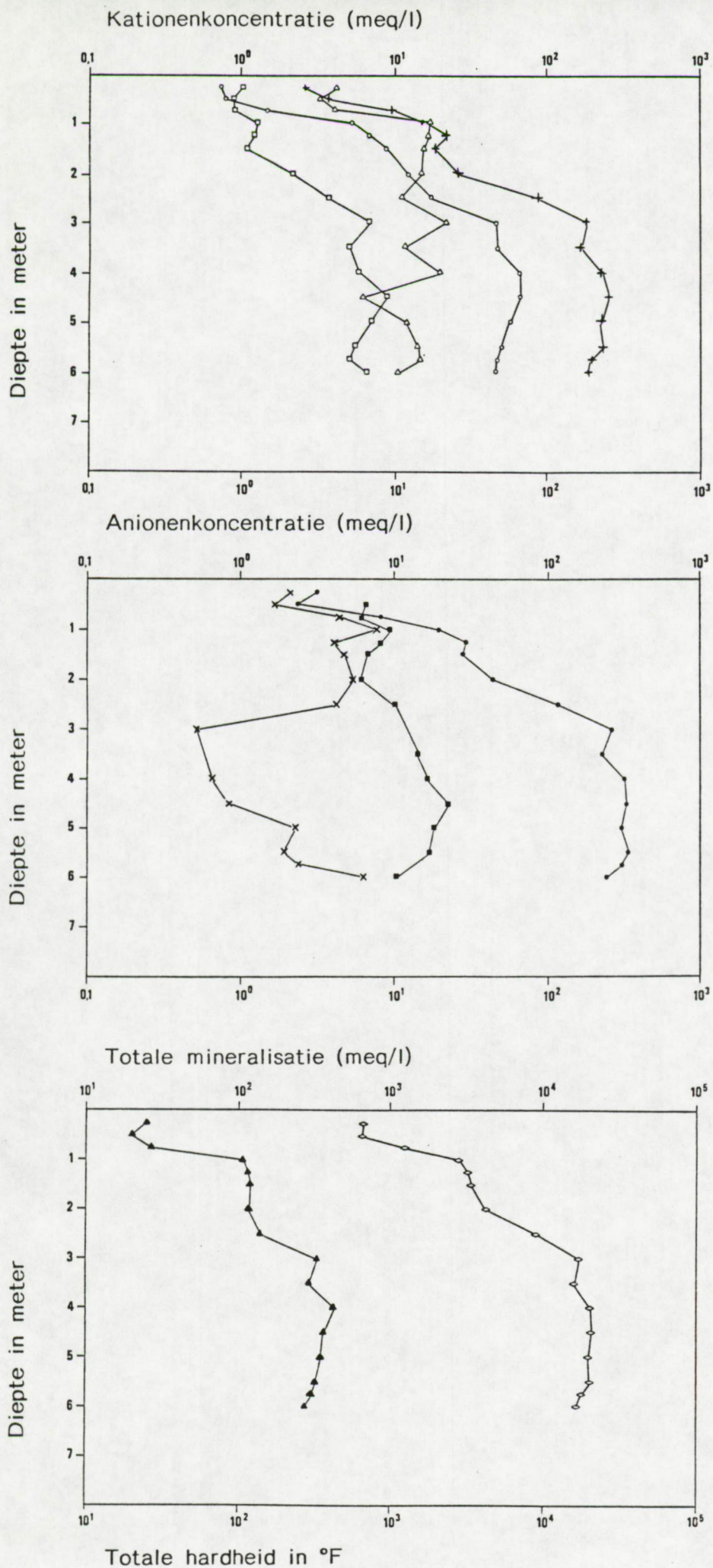


Fig. 5.46 - Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring SB 44'.

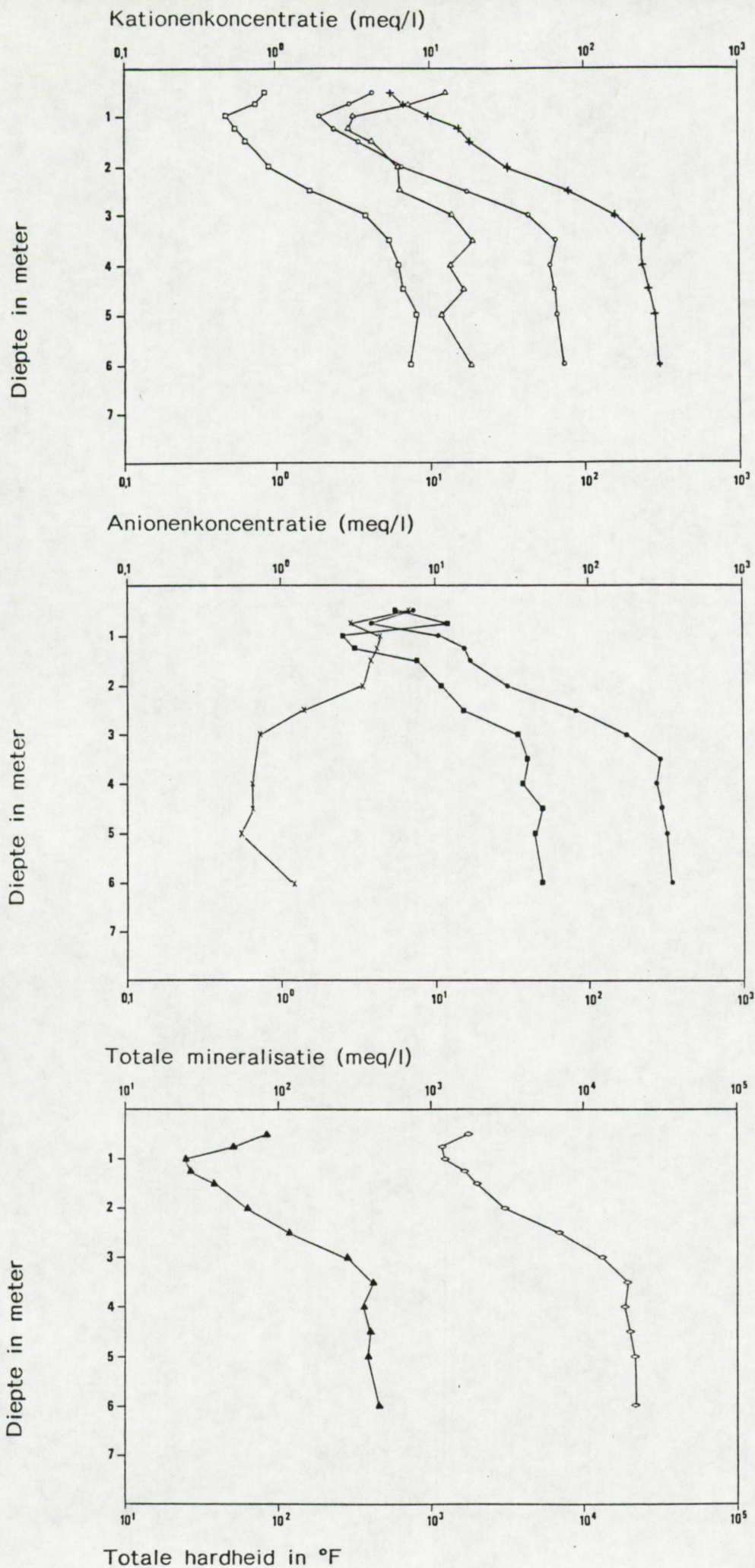


Fig. 5.47 - Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring SB 48'.

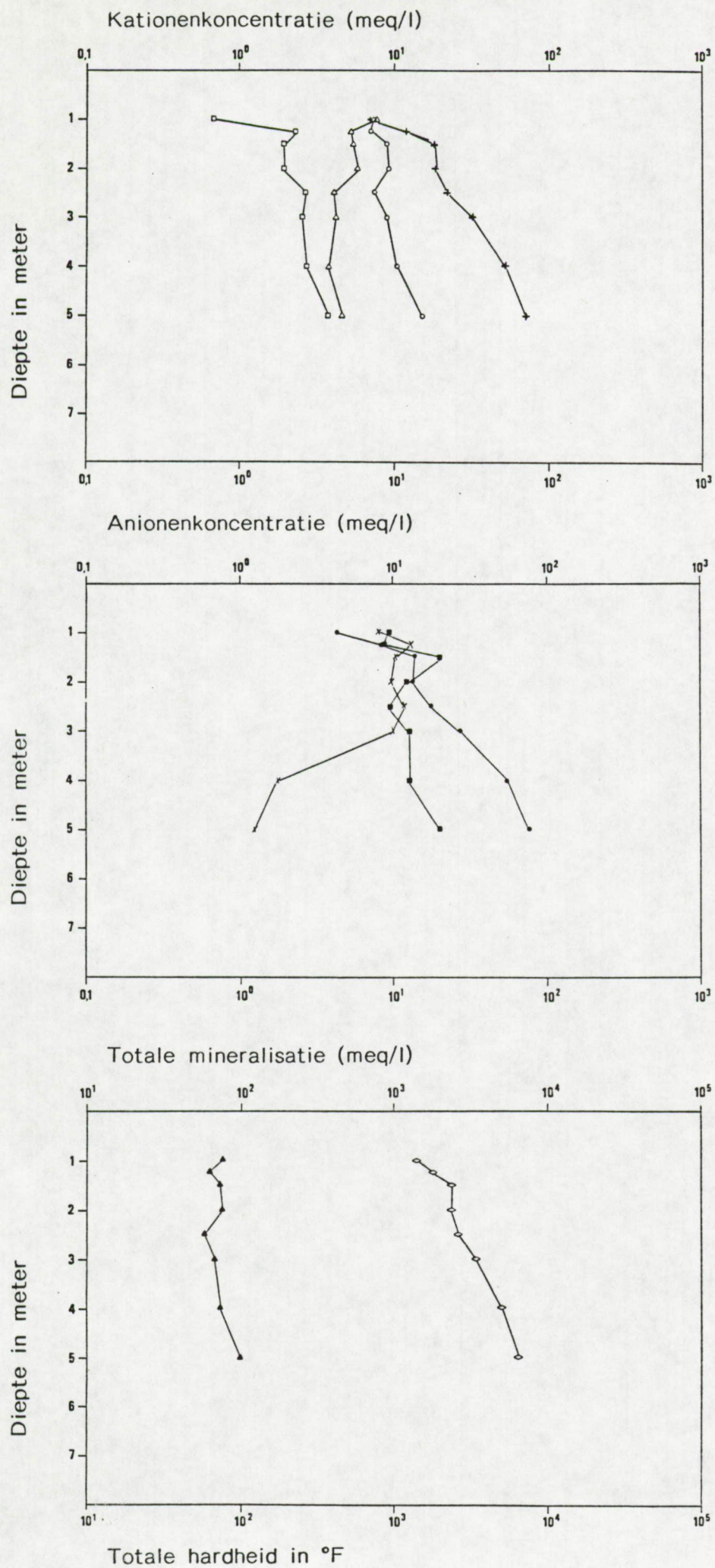


Fig. 5.48 - Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring SB 14'.

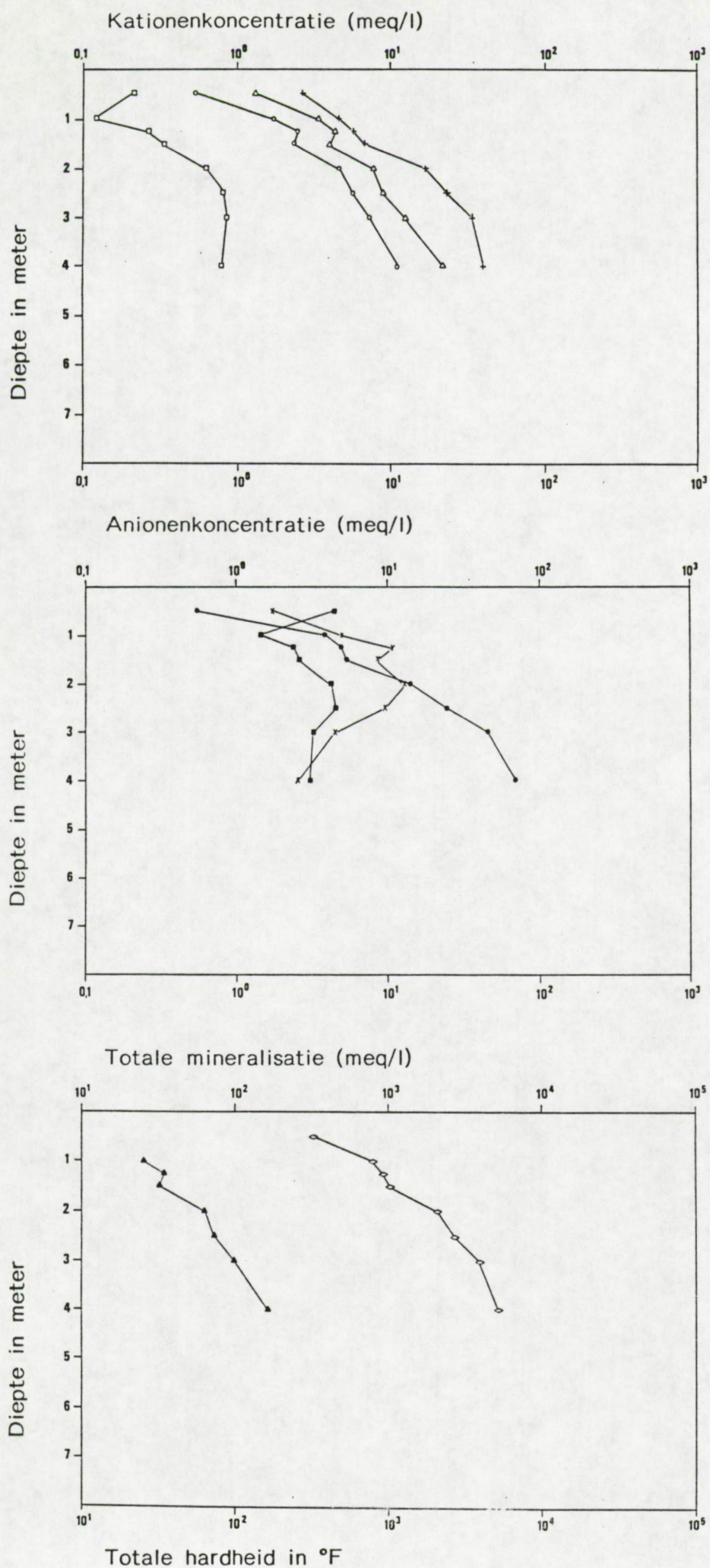


Fig. 5.49 - Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring HSB 8'.

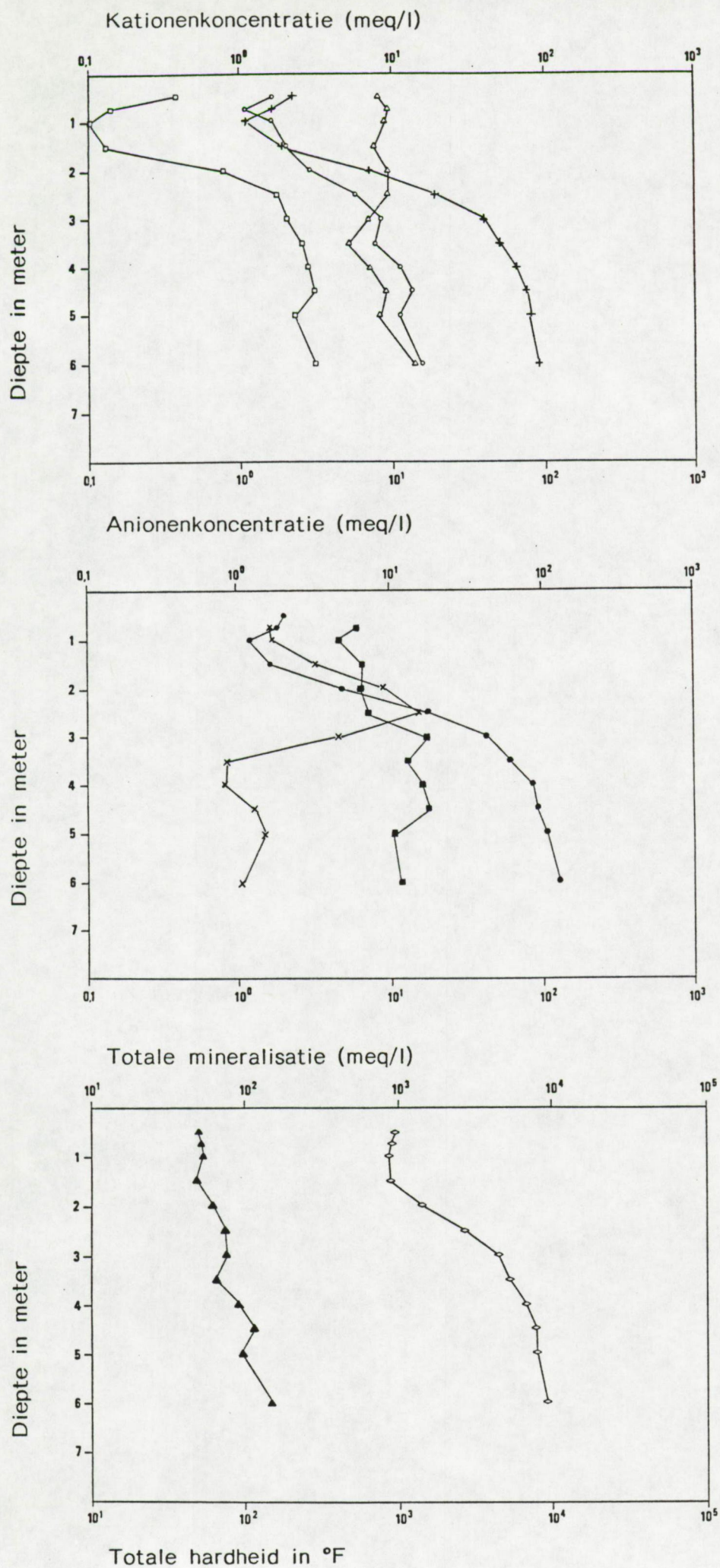


Fig. 5.50 - Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring HSB 9'.

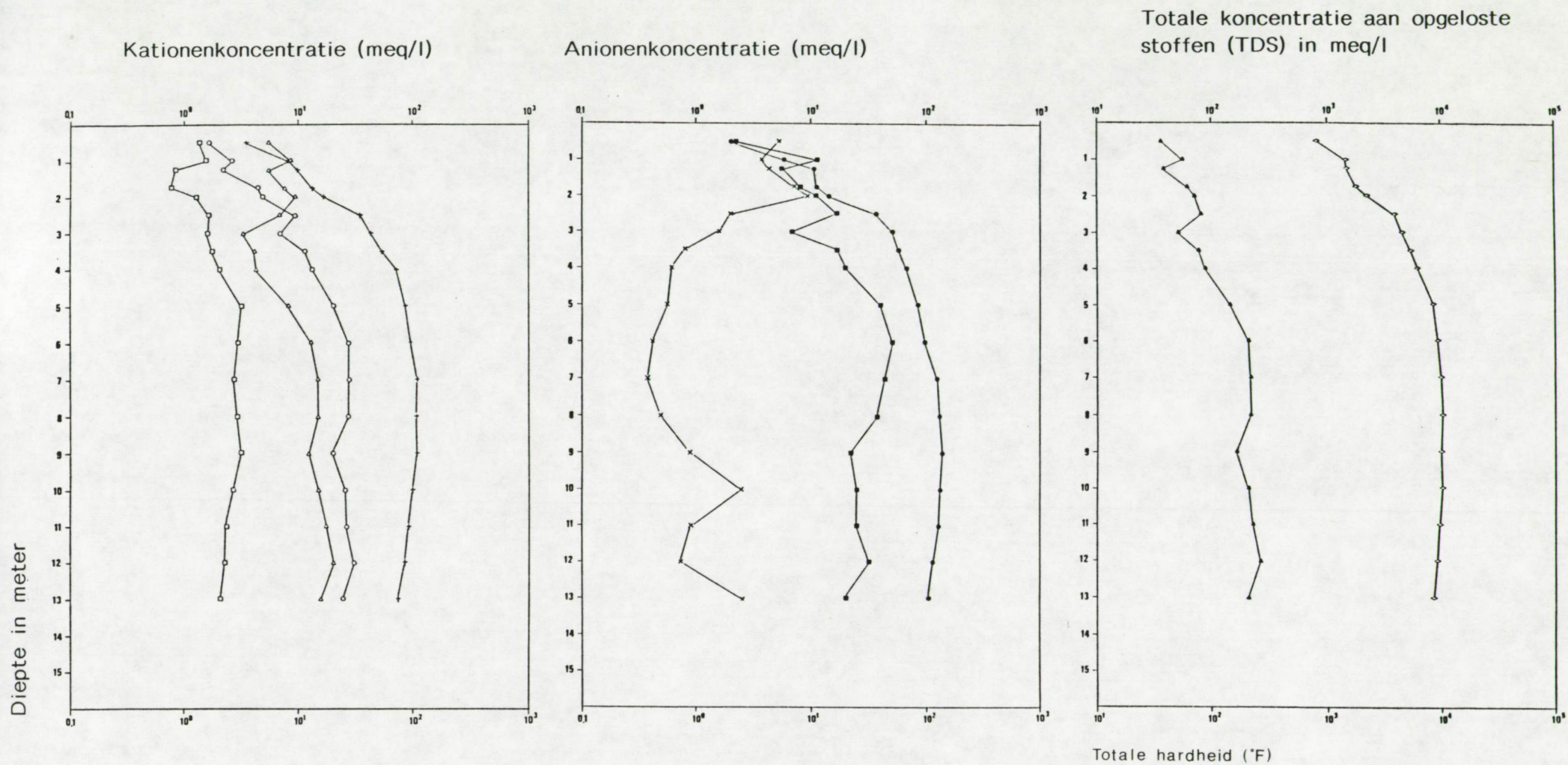


Fig. 5.51 - Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring HSB 10'.

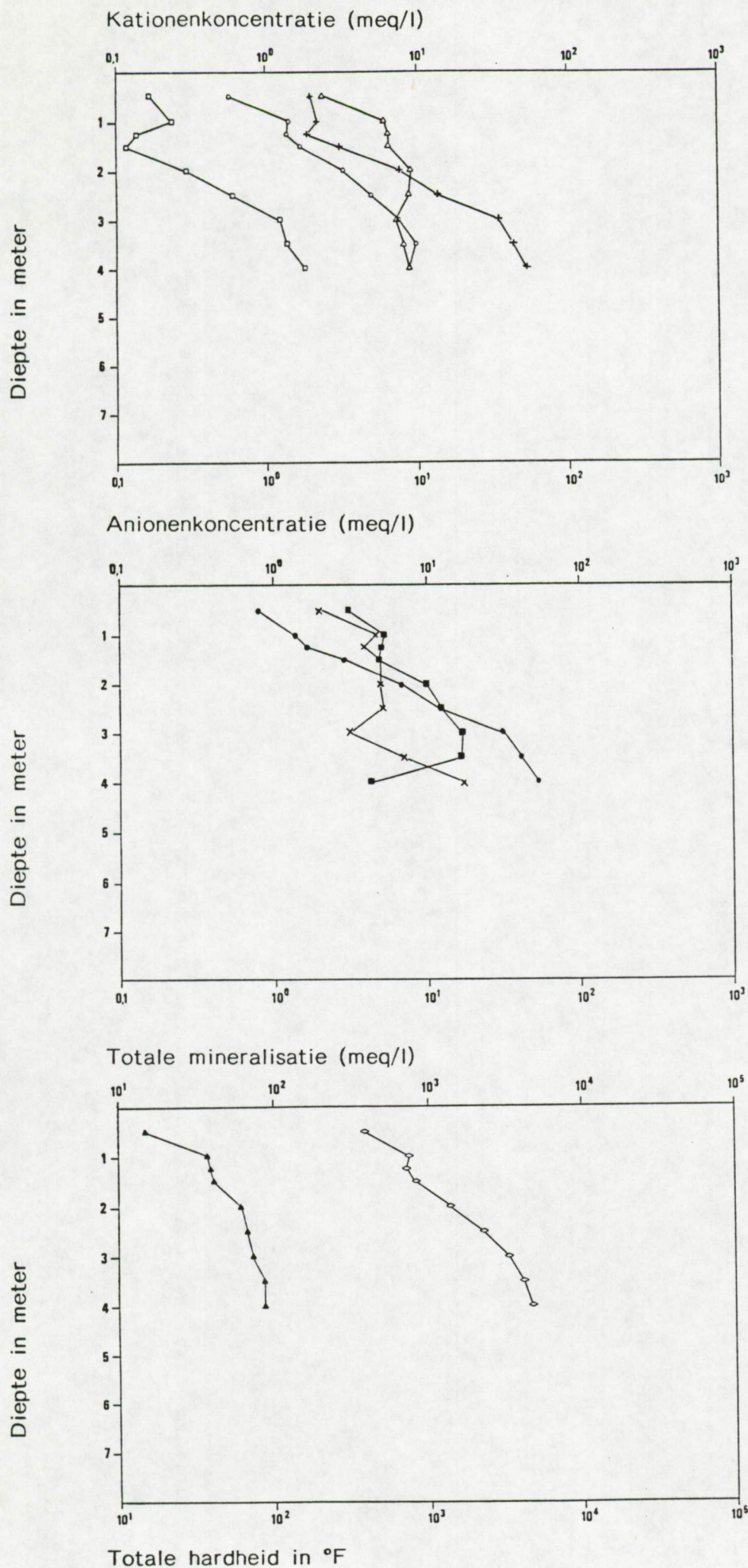


Fig. 5.52 - Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring HSB 15'.

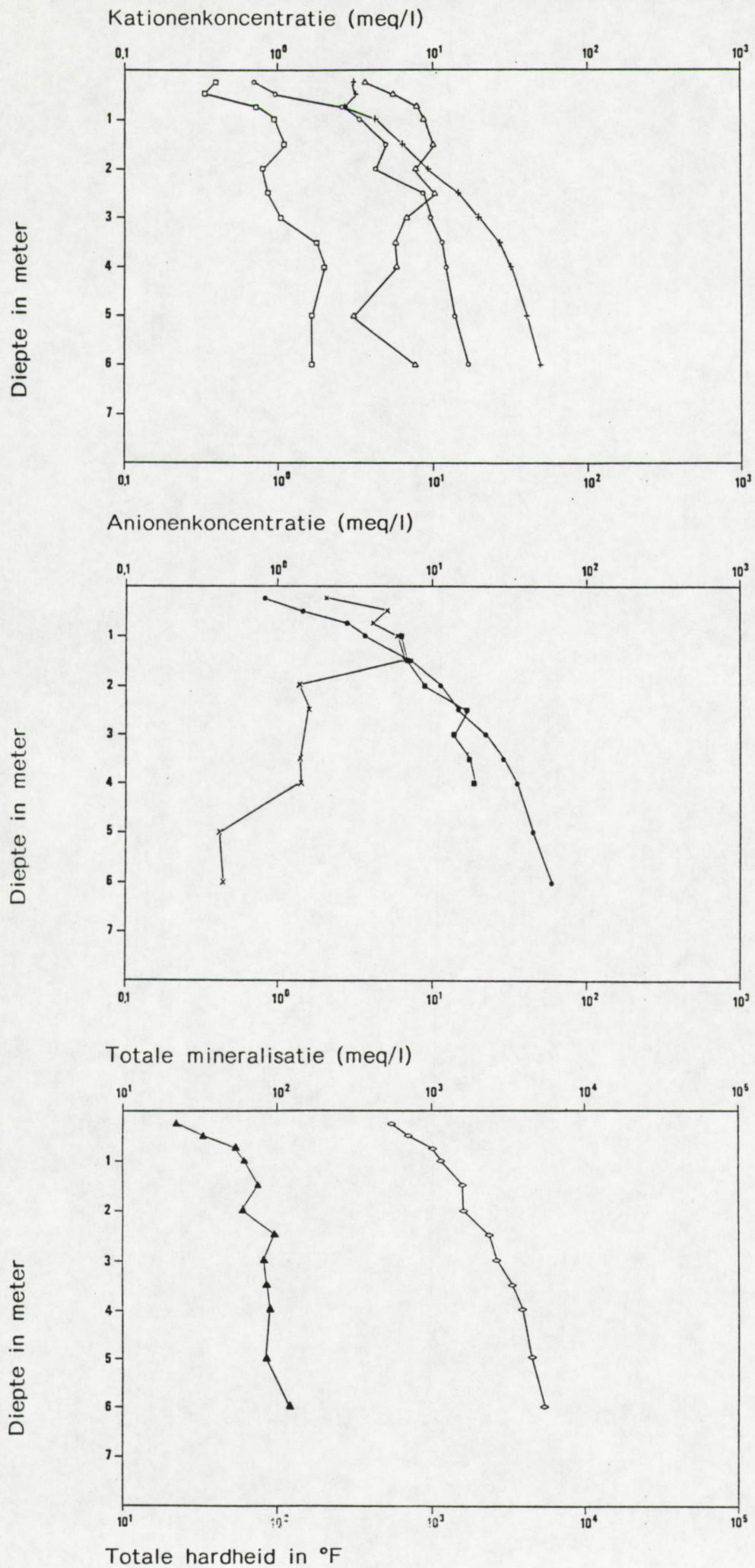


Fig. 5.53 - Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring HSB 18'.

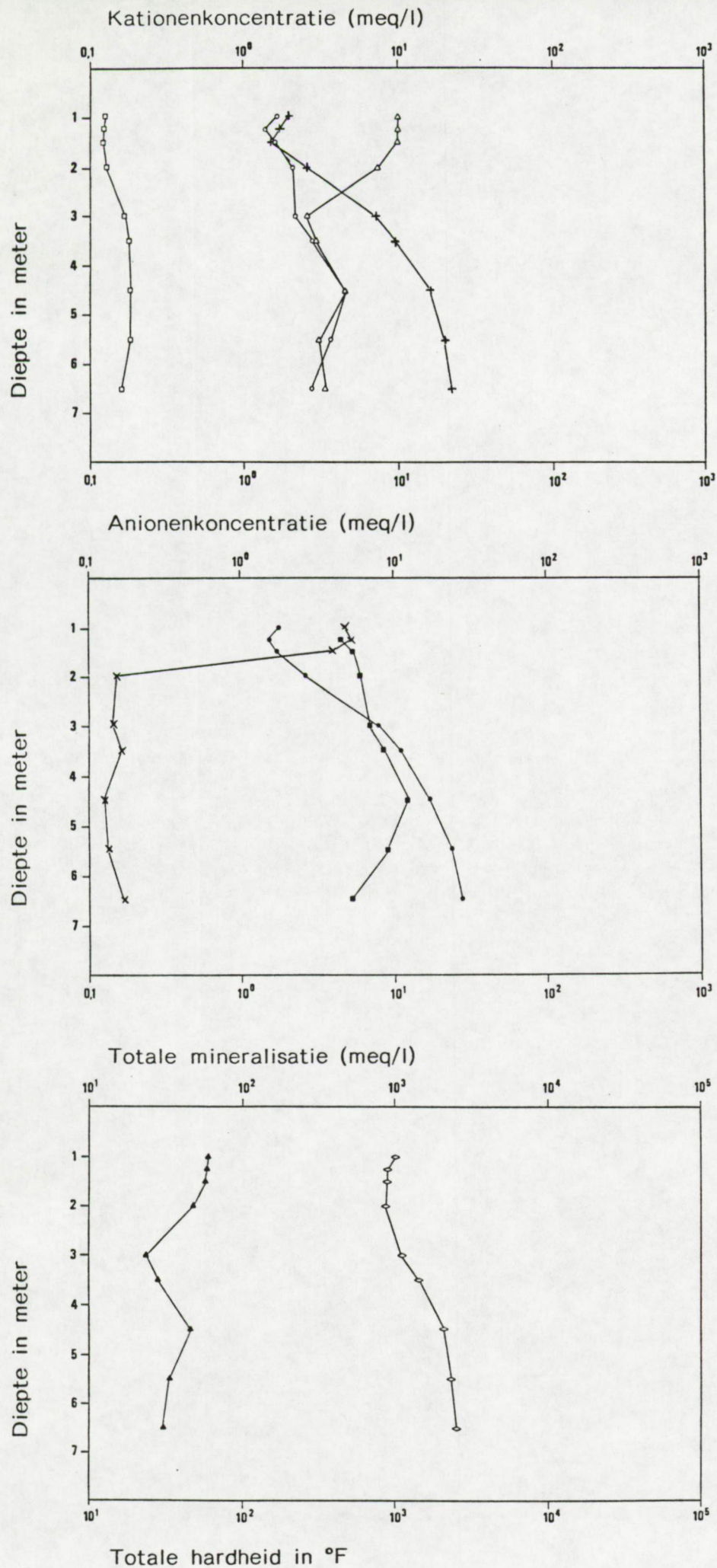


Fig. 5.54- Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring HSB 45'.

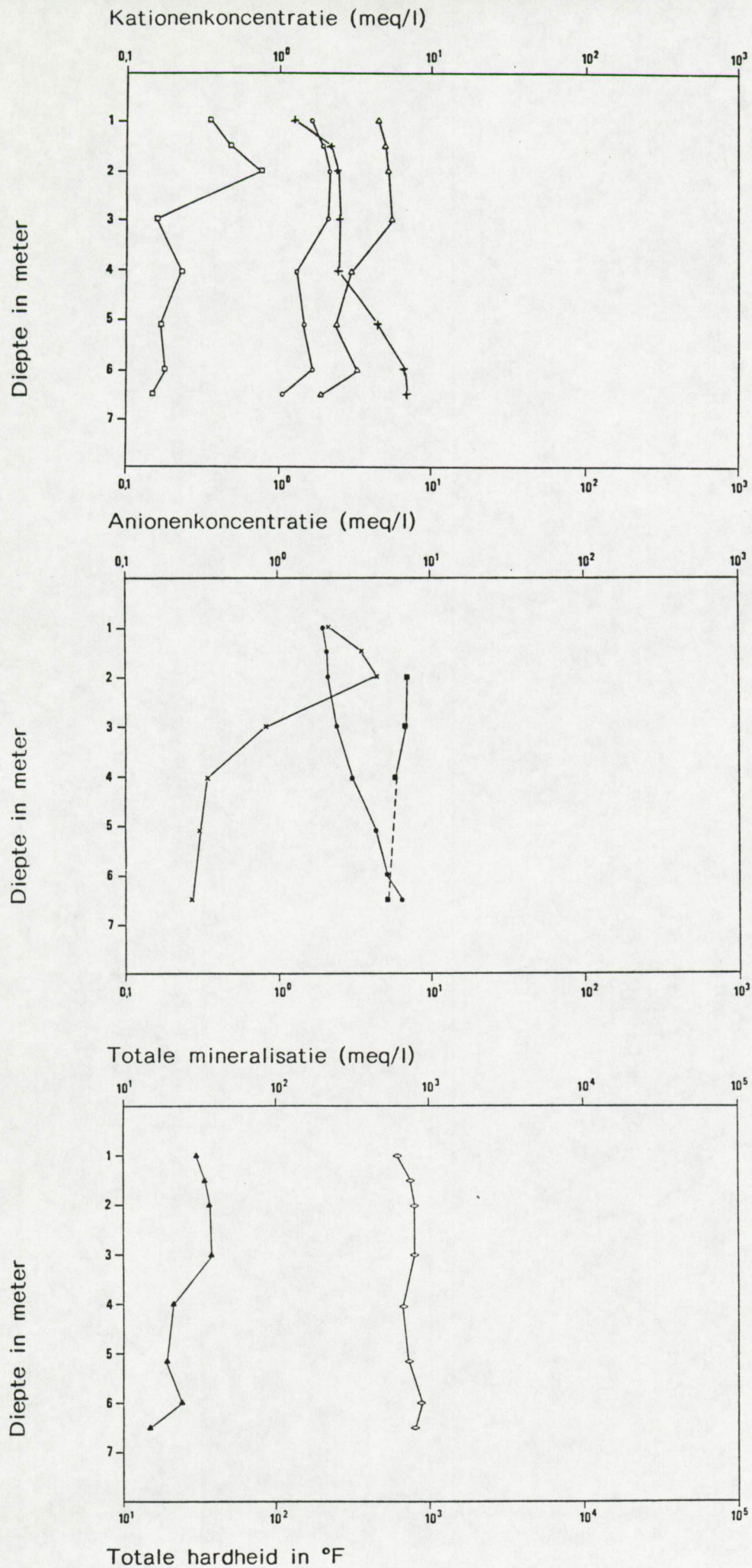


Fig. 5.55 - Variatie van de chemische parameters met de diepte voor de boring HSB 12'.

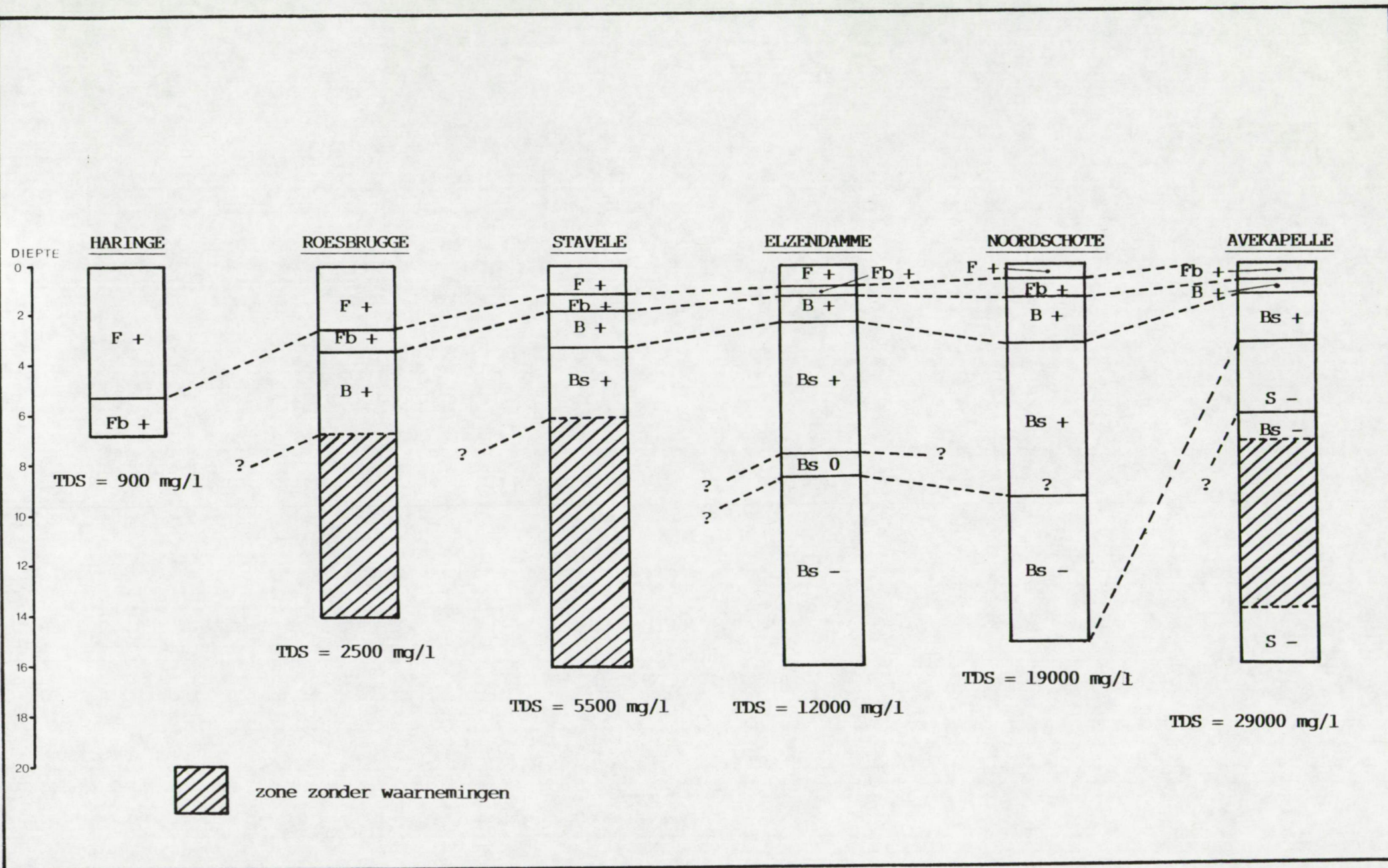
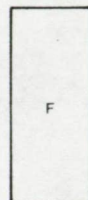
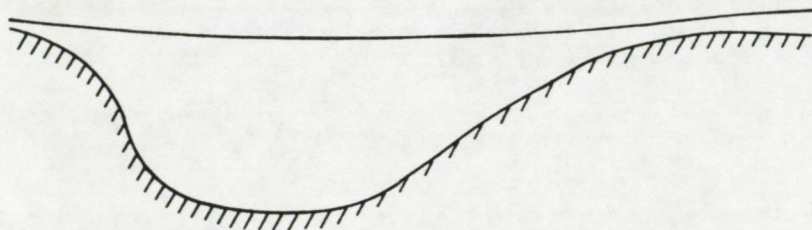
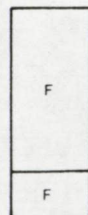
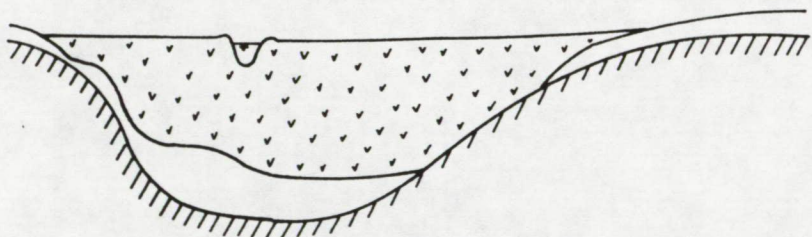


Fig 5.56 - Gradient in zoutgehalte van het grondwater tussen Avekapelle en de Frans-Belgische grens.

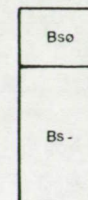
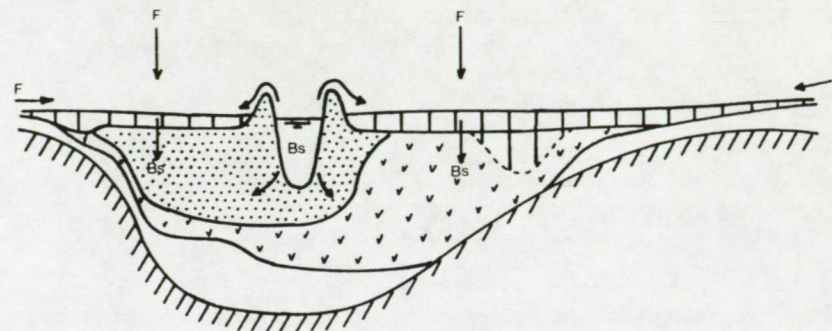
1 EINDE PLEISTOCEN



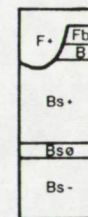
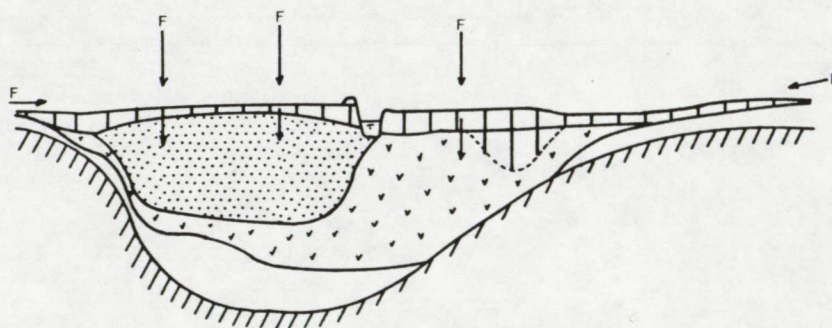
2 PREBOREAAL tem. SUBBOREAAL



3 SUBATLANTICUM



4 RECENT






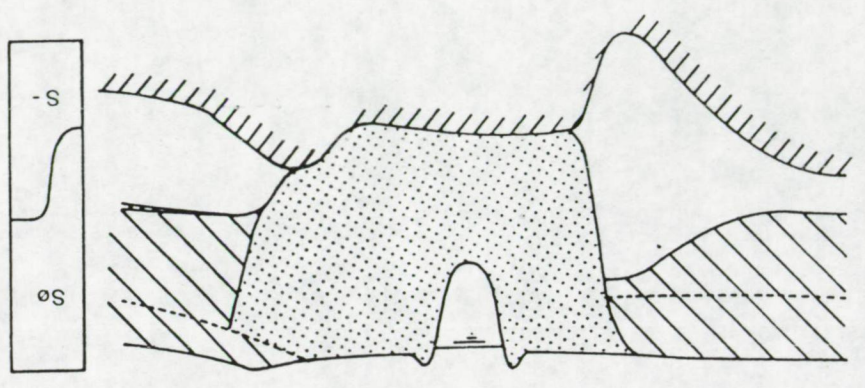
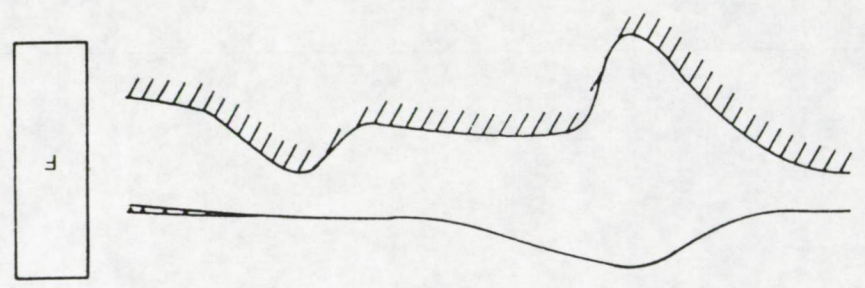
-  pleistocene klei
-  veen
-  subatlantische klei/zand

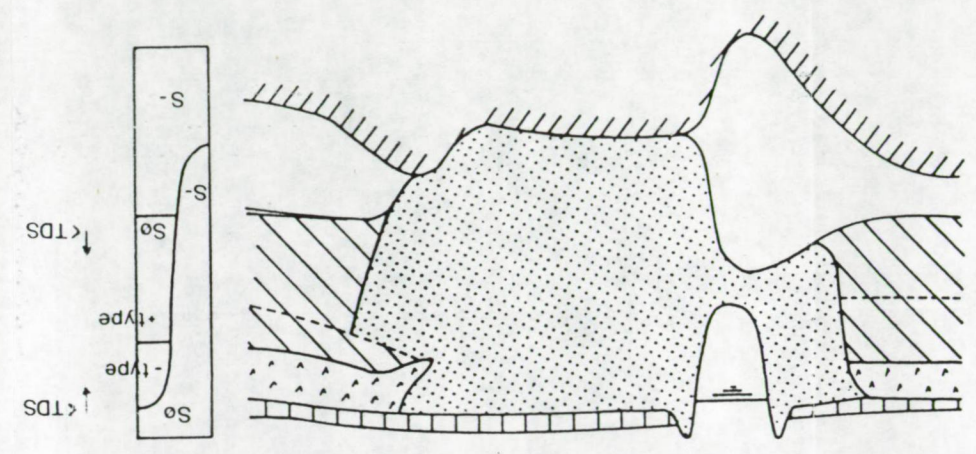
Fig. 5.57 - Evolutie van de grondwaterkwaliteit in de IJzervallei te Elzendamme.



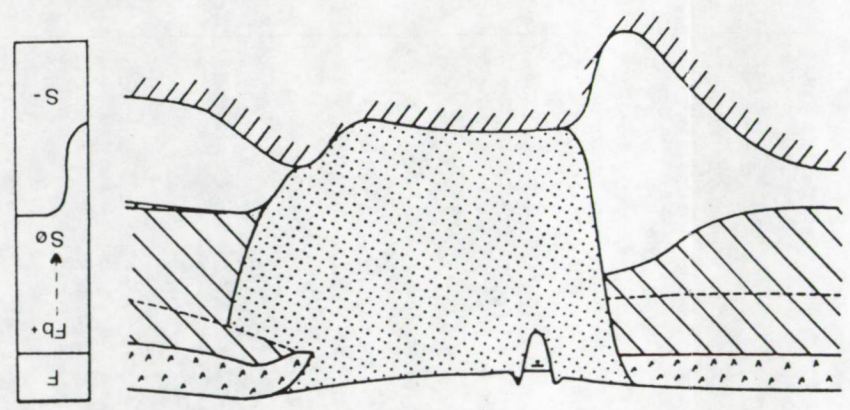
2. Atlanticum



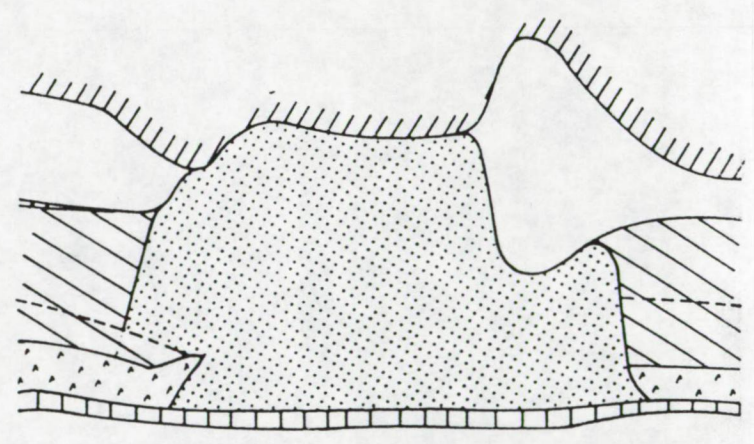
1. Boreaal



4. Subatlanticum



3. Subboreaal



5. Recent

Fig. 5.58 - Evolutie van de grondwaterkwaliteit in de IJzervallei te Avekapelle - Perwijze.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1: Beschikbare boor- en sondeergegevens

1. Boringen uitgevoerd bij de opname van de geologische kaart

Oorspronkelijk dossier :

Belgische Geologische Dienst, kaartblad Hoogstade 19/8
Lampernisse 20/1
Diksmuide 20/2
Lo 20/5
Langemark 20/6

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
1.1	1	198	5,2	1.38	13	201	3,7
1.2	12	198	4,7	1.39	14	201	4,3
1.3	16	198	3,8	1.40	15	201	5,3
1.4	17	198	2,1	1.41	17	201	3,3
1.5	18	198	4,2	1.42	18	201	4,3
1.6	19	198	3,0	1.43	19	201	3,3
1.7	29	198	6,5	1.44	20	201	3,9
1.8	30	198	5,1	1.45	21	201	3,9
1.9	31	198	2,0	1.46	23	201	2,4
1.10	32	198	3,5	1.47	24	201	4,3
1.11	33	198	3,0	1.48	25	201	3,3
1.12	34	198	2,3	1.49	28	201	1,3
1.13	36	198	1,1	1.50	29	201	3,1
1.14	37	198	2,5	1.51	30	201	2,3
1.15	38	198	2,0	1.52	31	201	2,3
1.16	39	198	4,4	1.53	32	201	2,0
1.17	40	198	3,5	1.54	33	201	2,3
1.18	42	198	1,5	1.55	34	201	2,3
1.19	43	198	3,5	1.56	35	201	2,3
1.20	44	198	2,3	1.57	36	201	2,7
1.21	45	198	4,0	1.58	39	201	1,8
1.22	46	198	4,0	1.59	40	201	2,3
1.23	48	198	6,0	1.60	44	201	2,5
1.24	51	198	2,6	1.61	45	201	3,0
1.25	52	198	2,4	1.62	46	201	2,5
1.26	1	201	4,5	1.63	47	201	2,5
1.27	2	201	4,4	1.64	48	201	2,3
1.28	3	201	3,6	1.65	49	201	2,3
1.29	4	201	3,1	1.66	50	201	3,8
1.30	5	201	3,3	1.67	52	201	4,2
1.31	6	201	4,2	1.68	53	201	2,6
1.32	7	201	2,6	1.69	54	201	2,7
1.33	8	201	2,4	1.70	55	201	4,3
1.34	9	201	3,3	1.71	56	201	4,1
1.35	10	201	2,3	1.72	57	201	3,3
1.36	11	201	2,3	1.73	58	201	4,3
1.37	12	201	4,5	1.74	60	201	1,8

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
1.75	61	201	3,3		1.120	110	201	1,2
1.76	62	201	3,6		1.121	111	201	2,1
1.77	63	201	4,8		1.122	112	201	4,2
1.78	64	201	4,7		1.123	113	201	2,2
1.79	65	201	4,3		1.124	114	201	2,2
1.80	66	201	5,2		1.125	115	201	2,2
1.81	67	201	5,5		1.126	116	201	3,2
1.82	68	201	5,0		1.127	13	202	3,3
1.83	69	201	4,9		1.128	15	202	1,3
1.84	70	201	3,2		1.129	16	202	2,8
1.85	71	201	5,5		1.130	26	202	2,3
1.86	73	201	3,5		1.131	29	202	2,3
1.87	74	201	3,7		1.132	32	202	2,3
1.88	75	201	3,4		1.133	33	202	2,6
1.89	76	201	4,7		1.134	34	202	2,9
1.90	77	201	4,4		1.135	35	202	2,1
1.91	78	201	4,5		1.136	36	202	2,3
1.92	79	201	5,3		1.137	40	202	3,1
1.93	80	201	4,9		1.138	41	202	4,1
1.94	81	201	4,3		1.139	42	202	4,2
1.95	82	201	5,5		1.140	62	202	2,3
1.96	83	201	4,3		1.141	63	202	1,8
1.97	84	201	4,2		1.142	64	202	3,3
1.98	85	201	4,7		1.143	70	202	3,1
1.99	86	201	2,9		1.144	71	202	4,3
1.100	87	201	3,5		1.145	72	202	3,6
1.101	88	201	2,6		1.146	80	202	5,3
1.102	90	201	2,1		1.147	81	202	5,6
1.103	92	201	4,0		1.148	82	202	5,2
1.104	94	201	2,2		1.149	83	202	5,0
1.105	95	201	1,2		1.150	84	202	3,3
1.106	96	201	3,0		1.151	85	202	3,0
1.107	97	201	3,0		1.152	86	202	4,3
1.108	98	201	2,8		1.153	87	202	4,0
1.109	99	201	2,6		1.154	89	202	3,3
1.110	100	201	4,2		1.155	90	202	4,6
1.111	101	201	4,0		1.156	91	202	4,3
1.112	102	201	3,1		1.157	92	202	4,1
1.113	103	201	1,9		1.158	93	202	4,7
1.114	104	201	4,0		1.159	94	202	4,9
1.115	105	201	3,0		1.160	95	202	4,7
1.116	106	201	2,0		1.161	96	202	5,0
1.117	107	201	1,2		1.162	97	202	5,3
1.118	108	201	3,2		1.163	98	202	3,8
1.119	109	201	2,2		1.164	99	202	3,4

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
1.165	100	202	4,0	1.210	34	205	3,6
1.166	101	202	1,7	1.211	35	205	3,3
1.167	102	202	1,3	1.212	36	205	6,5
1.168	103	202	4,5	1.213	37	205	4,8
1.169	105	202	1,5	1.214	38	205	3,3
1.170	107	202	3,4	1.215	39	205	3,9
1.171	108	202	3,8	1.216	40	205	2,1
1.172	109	202	3,7	1.217	41	205	4,0
1.173	110	202	1,3	1.218	42	205	2,2
1.174	111	202	3,1	1.219	43	205	3,5
1.175	112	202	1,3	1.220	44	205	4,5
1.176	113	202	2,9	1.221	45	205	1,2
1.177	114	202	2,5	1.222	46	205	4,0
1.178	115	202	1,9	1.223	48	205	2,6
1.179	117	202	2,5	1.224	49	205	2,2
1.180	119	202	2,8	1.225	50	205	3,2
1.181	122	202	2,5	1.226	51	205	3,3
1.182	123	202	2,2	1.227	52	205	2,5
1.183	124	202	4,0	1.228	53	205	2,9
1.184	125	202	2,6	1.229	54	205	3,0
1.185	1	205	1,7	1.230	55	205	5,8
1.186	2	205	3,3	1.231	56	205	2,2
1.187	3	205	2,0	1.232	57	205	5,0
1.188	8	205	0,8	1.233	58	205	6,3
1.189	9	205	3,0	1.234	59	205	3,5
1.190	10	205	3,7	1.235	61	205	3,2
1.191	11	205	2,8	1.236	62	205	2,3
1.192	14	205	2,0	1.237	63	205	5,8
1.193	15	205	1,0	1.238	66	205	4,0
1.194	16	205	2,3	1.239	74	205	1,6
1.195	17	205	4,5	1.240	75	205	2,2
1.196	18	205	2,0	1.241	76	205	2,3
1.197	19	205	2,2	1.242	77	205	3,0
1.198	20	205	2,0	1.243	78	205	3,2
1.199	22	205	2,3	1.244	85	205	2,0
1.200	23	205	1,8	1.245	87	205	1,6
1.201	24	205	1,8	1.246	88	205	1,3
1.202	26	205	2,1	1.247	89	205	1,3
1.203	27	205	2,2	1.248	90	205	2,3
1.204	28	205	5,8	1.249	92	205	2,0
1.205	29	205	4,2	1.250	93	205	2,0
1.206	30	205	3,2	1.251	8	206	2,2
1.207	31	205	5,7	1.252	10	206	3,6
1.208	32	205	5,3	1.253	11	206	1,5
1.209	33	205	2,4	1.254	12	206	5,5

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
1.255	13	206	3,0					
1.256	14	206	3,0					
1.257	15	206	2,5					
1.258	16	206	3,2					
1.259	17	206	1,8					
1.260	18	206	3,5					
1.261	23	206	1,0					
1.262	24	206	2,4					
1.263	25	206	0,9					
1.264	26	206	2,2					
1.265	27	206	3,9					
1.266	28	206	3,0					
1.267	36	206	2,3					
1.268	44	206	1,3					
1.269	45	206	3,0					
1.270	53	206	2,3					

2. Boringen uitgevoerd t.b.v. waterwinningsputten en kunstwerken

Oorspronkelijk dossier :

Belgische Geologische Dienst, kaartblad Hoogstade 19/8
Lampernisse 20/1
Diksmuide 20/2
Lo 20/5
Langemark 20/6

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
2.1	61	198	121,4		2.17	98(1)	205	15,0
2.2	61bis	198	123,0		2.18	98(2)	205	15,0
2.3	117	201	130,0		2.19	98(3)	205	15,0
2.4	123bis	201	155,0		2.20	98(4)	205	15,0
2.5	129	201	143,0		2.21	98(5)	205	15,0
2.6	131	201	137,0		2.22	99	205	12,9
2.7	126	202	8,5		2.23	100	205	12,9
2.8	127	202	142,0		2.24	125	202	256,0
2.9	129	202	144,0		2.25	152(1)	202	5,0
2.10	130	202	149,0		2.26	152(2)	202	5,5
2.11	131	202	139,0		2.27	152(3)	202	4,5
2.12	151	202	150,0		2.28	152(4)	202	5,3
2.13	96	205	9,8		2.29	152(5)	202	5,3
2.14	97	205	142,0		2.30	152(6)	202	4,8
2.15	105	205	160,0		2.31	152(7)	202	4,7
2.16	107	205	19,0		2.32	152(8)	202	5,5

3. Gestoken boringen uitgevoerd i.o.v. de Belgische Geologische Dienst

Oorspronkelijk dossier : geen

nummer studie	oorspronkelijk nummer	kaartblad	diepte
3.1	363	201	18,0
3.2	spoorweg	201	21,0
3.3	Avekapelle	201	20,0
3.4	Kapelhof	201	20,0
3.5	Ortodoxe kerk	201	16,0
3.6	Eggewaartskapelle	201	-
3.7	Zoutenaai	201	21,0
3.8	Oostkerke	201	24,0
3.9	Kruisabele	201	10,0
3.10	Schaap	201	11,0
3.11	Dijk	201	15,0
3.12	Lolege	201	8,0
3.13	Nieuwkapelle	201	22,0
3.14	Oude Stuif	202	11,0
3.15	Jacobs	202	16,0
3.16	Burcht	202	12,0
3.17	Atheneum	202	-
3.18	Devisch	202	16,0
3.19	Knokkebrug	205	15,0
3.20	Wolleboom	205	15,0
3.21	Vosje	205	7,0
3.22	Fintele	205	9,0
3.23	Waterhoek	205	19,0
3.24	Drie Grachten	205	14,0

4. Boringen uitgevoerd door het Geologisch Instituut van de RUG

Oorspronkelijk dossier :

Geologisch Instituut Rijksuniversiteit Gent, kaartbladen
Hoogstade 19/8
Lampernisse 20/1
Diksmuide 20/2

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
4.1	198SB1	198	12,5	4.12	201/11	201	5,2
4.2	201/1	201	6,4	4.13	201/12	201	6,4
4.3	201/2	201	6,4	4.14	201/13	201	5,9
4.4	201/3	201	5,5	4.15	201/14	201	2,8
4.5	201/4	201	6,4	4.16	201/17	201	1,3
4.6	201/5	201	5,0	4.17	201/17b	201	5,1
4.7	201/6	201	4,8	4.18	201/18	201	3,0
4.8	201/7	201	5,8	4.19	201/19	201	4,0
4.9	201/8	201	5,2	4.20	201/20	201	3,4
4.10	201/9	201	6,4	4.21	83/01B1	202	11,8
4.11	201/10	201	6,4	4.22	83/01B2	202	3,0

5. Boringen uitgevoerd door ADINCO i.o.v. de N.M.D.W.

Oorspronkelijk dossier :

Nationale Maatschappij der Waterleidingen

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
5.1	AD B1	201	10,5	5.2	AD B2	201	10,5

6. Boringen uitgevoerd door het Rijksinstituut voor Grondmechanica

Oorspronkelijk dossier :

Rijksinstituut voor Grondmechanica, kaartbladen

Hoogstade 19/8

Lampernisse 20/1

Diksmuide 20/2

Lo 20/5

Langemark 20/6

nummer studie	dossiernummer	oorspronk. nummer	kaartblad	diepte
6.1	4784-66/456	HB1	201	?
6.2	4784-66/456	HB2	201	?
6.3	4784-66/456	HB3	201	?
6.4	4784-66/456	HB4	201	?
6.5	4784-66/456	HB5	201	?
6.6	4784-66/456	HB6	201	?
6.7	1784	B1	205	6,3
6.8	1784	B2	205	5,1
6.9	3686	B148	205	7,5
6.10	3686	B149	205	7,5
6.11	3686	B150	205	6,0
6.12	3686	B156	205	11,0
6.13	3686	B166	205	4,4
6.14	3686	B169	205	8,3
6.15	3686	B173	205	5,2
6.16	3686	B171	206	7,3
6.17	6196-71/265	B a	206	15,0
6.18	6196-71/265	B b	206	20,0

1. Sonderingen uitgevoerd door Adinco, met het oog op de inplanting van het spaarbekken "Blankaart II".

Oorspronkelijk dossier : U-660
U-755

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
U-660	U-660/1	205	20,7	U-755	U-755/1	205	20,0
U-660	U-660/2	205	22,5	U-755	U-755/2	205	18,5
U-660	U-660/3	205	20,0	U-755	U-755/3	205	19,5
U-660	U-660/4	201	22,5	U-755	U-755/4	205	17,5
U-660	U-660/5	205	18,0	U-755	U-755/5	205	17,5
U-660	U-660/6	201	20,2	U-755	U-755/6	205	19,2
U-660	U-660/7	201	18,4	U-755	U-755/7	205	19,7
U-660	U-660/8	201	14,7				
U-660	U-660/9	201	19,5				
U-660	U-660/10	201	21,3				
U-660	U-660/11	205	19,7				
U-660	U-660/12	205	21,5				
U-660	U-660/13	205	21,7				
U-660	U-660/14	205	22,5				

2. Sonderingen uitgevoerd door het R.I.G., met het oog op de inplanting van het spaarbekken "Blankaart II".

Oorspronkelijk dossier : 3686
6196-71/265

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
3686	3686/1	205	13,9	3686	3686/17	205	18,0
3686	3686/2	205	13,8	3686	3686/18	205	9,0
3686	3686/3	205	18,8	3686	3686/19	205	18,0
3686	3686/4	205	12,8	3686	3686/20	205	18,0
3686	3686/5	205	19,8	3686	3686/21	205	18,0
3686	3686/6	205	17,8	3686	3686/22	205	14,0
3686	3686/7	205	14,8	3686	3686/23	205	15,5
3686	3686/8	205	15,9	3686	3686/24	205	14,0
3686	3686/9	205	13,8	3686	3686/25	205	17,0
3686	3686/10	205	14,0	3686	3686/26	205	15,5
3686	3686/11	205	13,0	3686	3686/27	205	15,5
3686	3686/12	205	13,7	3686	3686/28	205	13,5
3686	3686/13	205	16,8	3686	3686/29	205	16,0
3686	3686/14	205	16,0	3686	3686/30	205	19,5
3686	3686/15	205	17,0	3686	3686/31	205	17,0
3686	3686/16	205	18,5	3686	3686/32	205	17,5

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
3686	3686/33	205	19,0		3686	3686/78	205	18,5
3686	3686/34	205	18,0		3686	3686/79	205	12,0
3686	3686/35	205	14,0		3686	3686/80	205	11,5
3686	3686/36	205	13,5		3686	3686/81	205	12,0
3686	3686/37	205	12,0		3686	3686/82	205	19,0
3686	3686/38	205	17,0		3686	3686/83	205	15,0
3686	3686/39	205	15,5		3686	3686/84	205	15,5
3686	3686/40	205	17,0		3686	3686/85	205	19,0
3686	3686/41	205	15,0		3686	3686/86	205	16,0
3686	3686/42	205	10,0		3686	3686/87	205	15,0
3686	3686/43	205	16,5		3686	3686/88	205	17,0
3686	3686/44	205	18,5		3686	3686/89	205	16,5
3686	3686/45	205	15,5		3686	3686/90	205	15,5
3686	3686/46	205	16,7		3686	3686/91	205	16,5
3686	3686/47	205	15,7		3686	3686/92	205	18,5
3686	3686/48	205	20,0		3686	3686/93	205	20,0
3686	3686/49	205	12,0		3686	3686/94	205	20,0
3686	3686/50	205	20,0		3686	3686/95	205	20,0
3686	3686/51	205	11,5		3686	3686/96	205	18,0
3686	3686/52	205	20,0		3686	3686/97	205	13,5
3686	3686/53	205	16,5		3686	3686/98	205	14,0
3686	3686/54	205	18,5		3686	3686/99	205	14,0
3686	3686/55	205	18,5		3686	3686/100	205	14,0
3686	3686/56	205	16,5		3686	3686/101	205	12,5
3686	3686/57	205	14,0		3686	3686/102	205	13,0
3686	3686/58	205	16,0		3686	3686/103	205	13,5
3686	3686/59	205	20,0		3686	3686/104	205	14,5
3686	3686/60	205	19,0		3686	3686/105	205	16,0
3686	3686/61	205	15,5		3686	3686/106	205	17,0
3686	3686/62	205	11,0		3686	3686/107	205	20,0
3686	3686/63	205	19,5		3686	3686/108	205	12,0
3686	3686/64	205	11,5		3686	3686/109	205	18,5
3686	3686/65	205	17,5		3686	3686/110	205	15,0
3686	3686/66	205	20,0		3686	3686/111	205	14,5
3686	3686/67	205	16,0		3686	3686/112	205	20,0
3686	3686/68	205	15,5		3686	3686/113	205	13,0
3686	3686/69	205	16,5		3686	3686/114	205	19,0
3686	3686/70	205	15,0		3686	3686/115	205	17,0
3686	3686/71	205	15,0		3686	3686/116	205	14,0
3686	3686/72	205	15,0		3686	3686/117	205	13,0
3686	3686/73	205	15,0		3686	3686/118	205	12,0
3686	3686/74	205	15,5		3686	3686/119	205	17,5
3686	3686/75	205	18,0		3686	3686/120	205	20,0
3686	3686/76	205	13,0		3686	3686/121	205	17,8
3686	3686/77	205	14,0		3686	3686/122	205	17,0

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
3686	3686/123	205	17,8		3686	3686/152	205	11,0
3686	3686/124	205	17,5		3686	3686/153	205	15,5
3686	3686/125	205	14,5		3686	3686/154	205	16,0
3686	3686/126	205	20,0		3686	3686/155	205	16,8
3686	3686/127	205	20,0		3686	3686/156	205	17,0
3686	3686/128	205	20,0		3686	3686/157	205	11,0
3686	3686/129	205	20,0		3686	3686/158	205	7,0
3686	3686/130	205	16,0		3686	3686/159	205	14,0
3686	3686/131	205	20,0		3686	3686/160	205	9,0
3686	3686/132	205	20,0		3686	3686/161	205	20,5
3686	3686/133	205	17,0		3686	3686/162	205	20,0
3686	3686/134	205	20,0		3686	3686/163	205	8,0
3686	3686/135	205	12,5		3686	3686/164	205	11,5
3686	3686/136	205	17,0		3686	3686/165	205	9,0
3686	3686/137	205	20,0		3686	3686/166	205	8,0
3686	3686/138	205	15,0		3686	3686/167	205	12,5
3686	3686/139	205	20,0		3686	3686/168	205	6,7
3686	3686/140	205	19,0		3686	3686/169	205	14,0
3686	3686/141	205	20,0		3686	3686/170	205	17,0
3686	3686/147	205	17,8		3686	3686/171	205	18,5
3686	3686/148	205	15,0		3686	3686/172	205	11,0
3686	3686/149	205	11,0		3686	3686/173	205	16,0
3686	3686/150	205	16,5		3686	3686/174	205	5,0
3686	3686/151	205	11,0					

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
71/265	71/265/1	205	18,5		71/265	71/265/11	205	19,0
71/265	71/265/3	205	15,5		71/265	71/265/13	205	16,5
71/265	71/265/4	205	15,5		71/265	71/265/14	205	18,0
71/265	71/265/6	205	14,5		71/265	71/265/16	205	14,0
71/265	71/265/7	205	18,0		71/265	71/265/17	205	19,0
71/265	71/265/8	205	14,5		71/265	71/265/18	205	14,5
71/265	71/265/10	205	13,5					

3. Sonderingen uitgevoerd door het R.I.G. met het oog op andere kunstwerken.

Oorspronkelijk dossier : 60-78/570

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
78/570	78/570/1	198	18,5	78/570	78/570/H1	198	2,0
78/570	78/570/2	198	18,0	78/570	78/570/H2	198	10,5

Oorspronkelijk dossier : 922

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
922	922/1	198	17,5	922	922/2	198	21,0

Oorspronkelijk dossier : 7400-76/383

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
76/383	76/383/1	198	21,0	76/383	76/383/2	198	15,0

Oorspronkelijk dossier : 8285-81/112

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
81/112	81/112/1	201	24,0	81/112	81/112/2	201	23,5

Oorspronkelijk dossier : 5058-67/500

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
67/500	67/500/1	201	10,0	67/500	67/500/7	201	9,1
67/500	67/500/2	201	8,7	67/500	67/500/8	201	9,6
67/500	67/500/3	201	10,6	67/500	67/500/9	201	8,0
67/500	67/500/4	201	10,3	67/500	67/500/10	201	9,5
67/500	67/500/5	201	8,7	67/500	67/500/11	201	12,7
67/500	67/500/6	201	9,6				

Oorspronkelijk dossier : 680

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
680	680/1	201	?	680	680/2	201	?

Oorspronkelijk dossier : 740

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
740	740/1	201	20,0					

Oorspronkelijk dossier : 604

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
604	604/1	202	15,0		604	604/5	202	15,0
604	604/2	202	18,0		604	604/6	202	16,0
604	604/3	202	16,5		604	604/7	202	28,0
604	604/4	202	15,5					

Oorspronkelijk dossier : 3313

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair
3313	3313/1	202	5,3		3313	3313/5	202	5,0
3313	3313/2	202	5,5		3313	3313/6	202	5,5
3313	3313/3	202	5,5					

Oorspronkelijk dossier : 4784-66/456a

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
66/456	66/456/1	202	13,5		66/456	66/456/4	202	13,7
66/456	66/456/2	202	14,2		66/456	66/456/5	202	17,7
66/456	66/456/3	202	14,5		66/456	66/456/6	202	14,1

Oorspronkelijk dossier : 4988-67/380

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair
67/380	67/380/1	202	5,2		67/380	67/380/3	202	4,0
67/380	67/380/2	202	4,5		67/380	67/380/4	202	5,0

Oorspronkelijk dossier : 5373-68/421

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair
68/421	68/421/1	202	7,5	68/421	68/421/3	202	8,8
68/421	68/421/2	202	9,0				

Oorspronkelijk dossier : 6282-71/457

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair
71/457	71/457/1	202	3,5	71/457	71/457/2	202	4,5

Oorspronkelijk dossier : 6907-74/52

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
74/52	74/52/1	202	21,4	74/52	74/52/3	202	21,4
74/52	74/52/2	202	21,4				

Oorspronkelijk dossier : 849-85/133

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair
85/133	85/133/1	202	5,0	85/133	85/133/4	202	3,0
85/133	85/133/2	202	5,5	85/133	85/133/5	202	6,0
85/133	85/133/3	202	7,0				

Oorspronkelijk dossier : 9067-86/165

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	dikte kwartair
86/165	86/165/1	202	6,0	86/165	86/165/2	202	5,0

Oorspronkelijk dossier : 5217-68/168
1784

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte	nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
68/168	68/168/1	205	19,3	1784	1784/1	205	18,0

Oorspronkelijk dossier : 1566

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
1566	1566/1	205	22,0		1566	1566/2	205	21,0

Oorspronkelijk dossier : 5351-68/386

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
68/386	68/386/1	205	21,0		68/686	68/686/2	205	20,4

Oorspronkelijk dossier : 8487-82/256

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
82/256	82/256/1	205	20,2		82/256	82/256/2	205	20,2

Oorspronkelijk dossier : 109

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
109	109/1	205	20,2		109	109/2	205	21,6

Oorspronkelijk dossier : 4928-67/266

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
67/266	67/266/1	205	14,5		67/266	67/266/2	205	8,0

Oorspronkelijk dossier : 1238

nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte		nummer studie	oorspr. nummer	kaartblad	diepte
1238	1238/1	205	?		1238	1238/2	205	?

BIJLAGE 2 : Boringen uitgevoerd in het bestek van deze studie

BORING NR. SB1

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 11,0-12,0 m
F2 = 5,0-6,0 m

x = 39930
y = 188065
z = 3,930

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruin kleihoudend fijn zand met stenen en kleibrokjes	0,00	0,30
2	grijsbruine klei	0,30	0,80
3	grijze klei	0,80	1,20
4	grijs weinig kleihoudend fijn zand met schaarse houtrestjes	1,20	2,50
5	grijs weinig kleihoudend fijn zand met schaarse houtrestjes en schelprestjes	2,50	3,50
6	grijze leem	3,50	3,60
7	grijs weinig kleihoudend fijn zand met schaarse houtrestjes, grote schelpfragmenten en kwartskorrels	3,60	4,50
8	veen	4,50	4,60
9	grijs weinig kleihoudend fijn zand met grote kwartskorrels	4,60	7,50
10	grijs middelmatig zand met grote kwartskorrels, houtrestjes en zeer weinig schelpgruis	7,50	9,50
11	grijs middelmatig zand met grote kwartskorrels, houtrestjes, grote schelpfragmenten en veenbrokjes	9,50	11,00
12	grijs middelmatig zand met kleibrokjes, veel organisch materiaal en zeer veel schelpfragmenten	11,00	13,50
13	roodbruin veen	13,50	13,70
14	grijs fijn zand met talrijke kleibrokjes	13,70	15,20
15	grijs zeer grof zand tot grint	15,20	15,50
16	blauwgrijze plastische klei	15,50	17,50
17	grijze zeer stijve klei (Yc)	17,50	20,00

BORING NR. SB2

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 6,5-7,5 m
F2 = 3,0-4,0 m

x = 31195
y = 183355
z = 4,138

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine klei	0,00	0,30
2	grijsbruine klei	0,30	0,75

3	bruingle klei	0,75	1,30
4	veen	1,30	1,60
5	donkergrijze klei	1,60	1,70
6	bruingeel fijn zand met houtrestjes	1,70	2,30
7	grijs weinig kleihoudend zeer fijn zand met veel houtrestjes en zeer weinig schelpgruis	2,30	4,00
8	grijs zeer fijn zand met talrijke leembrokjes, houtrestjes en zeer weinig schelpgruis	4,00	4,50
9	grijs weinig kleihoudend fijn zand met hout en schelpgruis	4,50	5,00
10	grijs fijn zand met houtrestjes en grote schelpfragmenten	5,00	6,00
11	grijs fijn zand met houtrestjes en schaarse schelpfragmenten	6,00	7,60
12	grijs fijn zand met talrijke kleibrokjes	7,60	8,00
13	bruine sterk veenhoudende klei	8,00	8,80
14	veen	8,80	10,20
15	bruine veenhoudende plastische klei	10,20	11,30
16	blauwe plastische klei met schaarse schelprestjes	11,30	12,00
17	blauwe plastische klei met kalkkonkreties	12,00	13,50
18	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	13,50	16,00

BORING NR. SB3

Lambertkoordinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 8,0-9,0 m

x = 33065
y = 183535
z = 4,621

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine klei	0,00	0,50
2	grijsbruine klei	0,50	0,90
3	bruingrijs fijn zand met houtrestjes	0,90	1,80
4	grijs weinig kleihoudend fijn zand met talrijke houtrestjes en zeer weinig schelpgruis	1,80	3,00
5	grijs weinig kleihoudend fijn zand met talrijke houtrestjes, zeer weinig schelpgruis en kleibrokjes	3,00	3,80
6	veen	3,80	3,90
7	grijs weinig kleihoudend fijn zand met schaarse houtrestjes	3,90	7,70
8	veen	7,70	7,80

9	grijs fijn zand met houtresjes en grote schelpfragmenten	7,80	9,00
10	idem, thans ook met kleibrokjes	9,00	9,30
11	bruine veenhoudende plastische klei	9,30	9,80
12	grijze plastische klei	9,80	11,50
13	bruine veenhoudende plastische klei	11,50	13,50
14	bruin sterk kleihoudend veen met schelpjes	13,50	13,70
15	blauwgrijze plastische klei	13,70	16,00
16	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	16,00	20,00

BORING NR. SB4

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 3,1-4,1 m

x = 36380
y = 183290
z = 4,274

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende klei	0,00	0,30
2	grijze stijve klei	0,30	1,00
3	bruin fijn zand	1,00	1,50
4	grijs fijn zand met talrijke houtresten	1,50	3,50
5	grijs fijn zand met talrijke kleibrokjes	3,50	4,50
6	blauwe zeer stijve klei met bruine verweringszones (Yc)	4,50	8,00

BORING NR. SB5

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 13,0-14,0 m
F2 = 3,0-4,0 m

x = 37810
y = 186010
z = 3,312

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine stijve klei	0,00	0,50
2	bruingeel kleihoudend fijn zand	0,50	1,10
3	grijs fijn zand met weinig schelpgruis	1,10	1,80
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtrestjes	1,80	2,20
5	veen	2,20	2,25
6	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, houtrestjes en kleibrokjes	2,25	5,00

7	veen	5,00	5,10
8	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	5,10	7,30
9	veen	7,30	7,40
10	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, houtrestjes, en kleibrokjes (blauwe en donkergrijze klei)	7,40	14,00
11	(blauw)grijze plastische klei	14,00	17,00
12	blauwgrijze plastische klei	17,00	21,20
13	grint van zwarte silex	21,20	21,25
14	blauwgrijze plastische klei	21,25	21,90
15	grint van zwarte silex	21,90	21,95
16	blauwe zeer stijve klei (Yc)	21,95	24,00

BORING NR. SB6

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
 Filterdiepte : F1 = 13,5-14,5 m
 F2 = 5,0-6,0 m

x = 39290
 y = 187150
 z = 4,468

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine stijve klei	0,00	0,50
2	grijsbruine klei	0,50	1,00
3	bruingrijs fijn zand met weinig schelpgruis	1,00	2,50
4	grijs fijn zand met kleibrokjes en weinig schelpgruis	2,50	3,60
5	veen	3,60	3,70
6	grijs fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en kleibrokjes	3,70	5,50
7	veen	5,50	5,60
8	grijs fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en kleibrokjes	5,60	8,00
9	grijs fijn zand met zeer veel houtresten en weinig schelpgruis	8,00	11,00
10	afwisseling van grijs middelmatig zand met weinig schelpgruis en blauwe plastische klei	11,00	16,00
11	blauwgrijze plastische klei	16,00	16,50
12	grint van zwarte silex	16,50	16,60
13	blauwe zeer stijve klei (Yc)	16,60	20,00

BORING NR. SB7

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 8,5-9,5 m
F2 = 5,5-6,5 m

x = 39205
y = 187435
z = 3,634

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende klei met stenen	0,00	0,30
2	bruinigrijze zandhoudende klei	0,30	0,60
3	bruinrijfs fijn zand	0,60	1,50
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis	1,50	3,50
5	veen	3,50	3,60
6	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	3,60	6,00
7	grijs fijn zand met houtrestjes en meer schelpgruis	6,00	6,50
8	veen	6,50	6,60
9	grijs middelmatig zand met houtrestjes en veel schelpgruis	6,60	8,00
10	veen	8,00	8,10
11	grijs middelmatig zand met grote kwartskorrels, veel schelpgruis en brokjes van blauwe klei	8,10	9,50
12	blauwe plastische klei	9,50	15,80
13	blauwe stijve klei	15,80	15,90
14	blauwe plastische klei	15,90	19,00
15	blauwe zeer stijve klei (Yc)	19,00	22,00

BORING NR. SB8

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 17,5-18,5 m
F2 = 7,5-8,5 m

x = 39255
y = 187745
z = 4,176

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine klei met stenen	0,00	0,70
2	grijsbruine klei	0,70	1,20
3	bruinrijfs kleihoudend fijn zand	1,20	2,20
4	grijs fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en kleibrokjes	2,20	4,50
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel kleibrokjes	4,50	7,50
6	veen	7,50	7,60

7	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en zeer veel houtresten	7,60	10,00
8	grijs weinig kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	10,00	11,00
9	grijs weinig kleihoudend fijn zand met meer schelpgruis en houtrestjes	11,00	13,00
10	grijs middelmatig zand met schelpgruis en houtrestjes	13,00	14,50
11	grijs fijn zand met grote schelpfragmenten, houtrestjes en schaarse brokjes van blauwe klei	14,50	18,50
12	idem, doch meer schelpfragmenten en meer kleibrokjes	18,50	19,10
13	veen	19,10	19,20
14	grijs middelmatig tot grof zand met grote schelpfragmenten en schaarse brokjes van blauwe klei	19,20	19,80
15	blauwgrijze plastische klei	19,80	26,40
16	blauwe zeer stijve klei (Yc)	26,40	29,00

BORING NR. SB9

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 3,5-4,5 m

x = 39190
y = 187850
z = 3,871

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine klei met stenen	0,00	0,90
2	donkergrijze klei	0,90	1,70
3	bruingrijs fijn zand met houtrestjes	1,70	2,60
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	2,60	4,90
5	donkergrijze plastische klei	4,90	5,50
6	bruin weinig kleihoudend veen	5,50	7,00
7	blauwgrijze veenhoudende slappe klei	7,00	7,90
8	blauwgrijze plastische klei met schaarse schelpen	7,90	9,00
9	bruin kleihoudend veen	9,00	9,70
10	grijze veenhoudende plastische klei met schaarse schelpen en meer zandhoudende zones	9,70	21,00
11	blauwe plastische klei	21,00	25,50
12	blauwe zeer stijve klei (Yc)	25,50	27,00

BORING NR. SB10

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 16,5-17,5 m
F2 = 3,8-4,8 m

x = 39540
y = 186810
z = 4,246

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine klei met stenen	0,00	0,50
2	grijsbruine klei	0,50	1,20
3	bruingrijs fijn zand met houtrestjes	1,20	1,90
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	1,90	2,50
5	veen	2,50	2,60
6	grijs fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en kleibrokken	2,60	3,50
7	grijze plastische klei	3,50	4,00
8	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, houtrestjes en dunne kleilaagjes	4,00	7,80
9	grijze plastische klei	7,80	8,00
10	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	8,00	10,00
11	grijs weinig kleihoudend zeer fijn zand met meer schelpgruis en houtrestjes	10,00	12,00
12	idem, thans ook met kleibrokjes	12,00	13,00
13	grijs fijn zand met schelpgruis en kleibrokjes	13,00	14,00
14	grijs fijn tot middelmatig zand met schelpgruis en houtrestjes. Dunne kleilaagjes vanaf 16,5 m.	14,00	17,50
15	blauwe zeer stijve klei (Yc)	17,50	20,00

BORING NR. SB11

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 14,5-15,5 m

x = 39585
y = 186551
z = 3,006

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende klei	0,00	0,50
2	grijsbruine klei	0,50	0,80
3	lichtgrijze veenhoudende klei	0,80	2,00
4	grijze zandhoudende klei met houtrestjes	2,00	3,20
5	grijze zandhoudende plastische klei met houtrestjes, weinig schelpgruis en meer zandhoudende laagjes	3,20	9,50

6	grijs leemhoudend fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en kleibrokken	9,50	15,40
7	grint van zwarte silex	15,40	15,50
8	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	15,50	20,00

BORING NR. SB12

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 15,0-16,0 m
F2 = 3,8-4,8 m

x = 39675
y = 186125
z = 4,164

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende klei	0,00	0,20
2	bruینگrijze stijve klei	0,20	1,10
3	bruینگrijs fijn zand met weinig schelpgruis en kleibrokjes	1,10	2,00
4	grijs fijn zand met kleibrokjes en talrijke houtrestjes	2,00	4,80
5	grijze sterk zandhoudende plastische klei met veel organisch materiaal en dunne zandlaagjes	4,80	5,80
6	bruin kleihoudend veen	5,80	6,50
7	blauwgrijze plastische klei met kalkbrokjes	6,50	11,00
8	afwisseling van groengrijze zandhoudende plastische klei met kalkkonkreties en groengrijs kleihoudend fijn zand met silexstukje	11,00	15,00
9	groengrijs sterk kleihoudend fijn zand met kalkkonkreties, silexstukjes en zeer weinig schelpfragmenten	15,00	15,50
10	grijs grof zand met grote kwartskorrels, zeer veel schelpfragmenten en brokjes van blauwe klei	15,50	16,10
11	grint van zwarte silex	16,10	16,15
12	blauwgrijze zeer stijve klei	16,15	19,00

BORING NR. SB13

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 13,5-14,5 m

x = 39840
y = 186935
z = 4,584

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende klei	0,00	0,30
2	bruینگrijze stijve klei	0,30	1,10

3	bruingrijs fijn zand met houtrestjes	1,10	1,60
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	1,60	3,00
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, houtrestjes en talrijke brokjes van grijze veenhoudende klei	3,00	5,00
6	veen	5,00	5,80
7	blauwgrijze veenhoudende en weinig zandhoudende plastische klei met veel schelpfragmenten en volledige schelpen	5,80	7,00
8	grijs kleihoudend fijn zand met zeer weinig schelpgruis en kleibrokjes	7,00	8,30
9	blauwe plastische klei	8,30	9,50
10	blauwgrijs sterk kleihoudend fijn zand met veel schelpgruis en kalkkonkreties	9,50	10,20
11	groengrijze plastische klei met schelpfragmenten en dunne zandlaagjes	10,20	12,50
12	grijs fijn zand met schelpgruis; zeer veel schelpgruis in de laatste 40 cm.	12,50	13,60
13	grijs fijn zand met zeer veel schelpgruis	13,60	14,60
14	grijs middelmatig zand met schelpfragmenten, silexstukjes en brokjes van blauwe klei	14,60	15,00
15	grint van zwarte silex	15,00	14,90
16	blauwe zeer stijve klei (Yc)	14,90	18,00

BORING NR. SB14

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 7,0-8,0 m

x = 40385
y = 185425
z = 3,741

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende klei	0,00	0,30
2	bruingrijze klei	0,30	0,70
3	lichtgrijze zandhoudende klei	0,70	1,00
4	grijze veenhoudende en zandhoudende plastische klei met zeer weinig schelpgruis	1,00	4,00
5	veen	4,00	4,20
6	grijze sterk zandhoudende klei tot sterk kleihoudend fijn zand	4,20	6,00
7	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	6,00	6,50
8	grijze plastische klei	6,50	6,70

9	grijs fijn zand met veenbrokken en weinig schelpgruis	6,70	7,50
10	grijs grof zand met korrels van melkkwarts	7,50	8,00
11	bruingrijze sterk veenhoudende plastische klei met veenlaagje	8,00	11,00
12	blauwgrijze plastische klei	11,00	13,00
13	grijze plastische klei	13,00	13,80
14	groengrijze sterk zandhoudende plastische klei met houtrestjes. Zandlaagje tussen 14,5 en 14,8 m diepte.	13,80	15,00
15	afwisseling van groengrijze plastische klei en groengrijs kleihoudend fijn zand met grotere kwartskorrels en schelpfragmenten	15,00	16,80
16	blauwe plastische klei	16,80	17,50
17	idem, doch met schelprestjes	17,50	19,00
18	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	19,00	24,00

BORING NR. SB15

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 40875
y = 183510
z = 5,681

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine sterk zandhoudende leem met stenen	0,00	1,00
2	roestbruine sterk zandhoudende leem	1,00	1,50
3	beige weinig zandhoudende leem met roestniveaus	1,50	3,00
4	blauwgrijze weinig zandhoudende plastische klei	3,00	4,00
5	grijsblauwe weinig zandhoudende plastische klei	4,00	6,30
6	groengrijze sterk glauconiethoudende en sterk zandhoudende plastische klei met schelpgruis	6,30	7,00
7	loodgrijze stijve klei	7,00	8,50
8	blauwgrijze plastische klei	8,50	10,50
9	grijs fijn zand met talrijke kleibrokjes	10,50	11,20
10	blauwgrijze zandhoudende plastische klei	11,20	11,90
11	blauwe zeer stijve klei (Yc)	11,90	14,00

BORING NR. SB16

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 11,0-12,0 m

x = 40605
y = 184735
z = 3,675

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruin sterk kleihoudend en veenhoudend fijn zand	0,00	0,20
2	bruine weinig zandhoudende en veenhoudende klei	0,20	0,50
3	lichtgrijze weinig zandhoudende klei met roestvlekken	0,50	1,50
4	bruin sterk kleihoudend veen	1,50	1,70
5	bruin veen met brokken van lichtgrijze plastische klei	1,70	5,00
6	blauwe zandhoudende plastische klei	5,00	5,20
7	bruin veen	5,20	5,40
8	blauwe zandhoudende plastische klei	5,40	5,70
9	blauwgroen fijn zand met kleibrokjes en brokken van groen sterk kleihoudend fijn zand	5,70	6,50
10	grijs grof zand met grote melkkwartskorrels en silexstukjes	6,50	7,00
11	afwisseling van groengrijs glauconiethoudend middelmatig zand met zeer weinig schelpgruis, en blauwgroene plastische klei (overwegend zand)	7,00	10,00
12	idem, het zand is iets groffer	10,00	11,40
13	grijs grof zand met grote melkkwartskorrels en silexstukjes	11,40	11,80
14	grint van zwarte silex	11,80	11,85
15	blauwe zeer stijve klei met bruine verweringszones(Yc)	11,85	15,00

BORING NR. SB17

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 12,5-13,5 m

x = 40605
y = 184195
z = 3,669

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine sterk zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze zandhoudende klei met roestvlekken	0,20	1,00
3	bruin veen met zeer veel hout	1,00	1,90
4	lichtgrijze zandhoudende leem	1,90	2,10
5	blauwgrijze sterk zandhoudende plastische klei	2,10	3,00
6	blauwgrijze zandhoudende plastische klei	3,00	5,00

7	grijze weinig veenhoudende leem	5,00	6,00
8	groengrijs glauconiethoudend en sterk kleihoudend zeer fijn zand met weinig schelpgruis	6,00	7,50
9	groengrijs glauconiethoudend middelmatig zand met kleibrokje	7,50	8,00
10	idem, doch met meer kleibrokjes (kleilaagjes)	8,00	11,00
11	idem, thans ook met melkkwartskorrels en silexstukjes	11,00	13,70
12	blauwe plastische klei met silexstukjes	13,70	14,60
13	grint van zwarte silex	14,60	14,65
14	blauwgrijze plastische klei	14,65	15,00
15	grint van zwarte silex	15,00	15,10
16	blauwe zeer stijve klei met bruine verweringszones	15,10	18,00

BORING NR. SB18

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 6,0-7,0 m

x = 38665
y = 186535
z = 4,316

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,50
2	bruinigrijze veenhoudende klei met stenen	0,50	1,00
3	roestbruin fijn zand met kleibrokjes	1,00	1,30
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, grote houtresten en brokjes van grijze klei	1,30	2,30
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	2,30	4,00
6	idem, met kleibrokjes en veenbrokjes	4,00	6,00
7	grijs zeer fijn zand met schelpgruis en grote houtbrokken	6,00	8,00
8	idem, met brokjes van blauwe klei	8,00	8,50
9	idem, met grotere schelpfragmenten	8,50	9,30
10	blauwgroene zeer stijve klei (Yc)	9,30	12,00

BORING NR. SB19

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 40420
y = 185125
z = 4,164

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,70
2	grijsbruine stijve klei met roestvlekken	0,70	1,50
3	lichtgrijze veenhoudende plastische klei met planteresten	1,50	2,20
4	bruin veen	2,20	5,50
5	bruinigrijze zeer sterk veenhoudende plastische klei	5,50	5,80
6	blauwgrijze veenhoudende plastische klei	5,80	6,50
7	blauwgrijze weinig veenhoudende zeer plastische klei met enkele grote schelpfragmenten	6,50	7,30
8	blauwgrijze sterk veenhoudende klei met schelpjes	7,30	7,80
9	bruin veen	7,80	8,80
10	blauwgrijze veenhoudende plastische klei met schelpjes	8,80	9,60
11	bruin veen	9,60	10,20
12	grijze zeer sterk veenhoudende plastische klei met grote planteresten en schelpjes	10,20	13,00
13	blauwgrijze plastische klei met schelpjes en kalkkonkreties	13,00	13,70
14	blauwe plastische klei met zeer veel kalkkonkreties	13,70	16,30
15	grint van zwarte silex	16,30	16,35
16	blauwe zeer stijve klei (Yc)	16,35	20,00

BORING NR. SB20

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 6,0-7,0 mx = 35355
y = 184800
z = 4,186

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,50
2	lichtgrijsbruine weinig zandhoudende klei	0,50	1,00
3	bruin fijn zand met weinig schelpgruis	1,00	1,50
4	grijs zeer fijn zand met veel schelpgruis, talrijke grote houtresten en kleibrokjes	1,50	3,80
5	veen	3,80	3,90

6	grijs zeer fijn zand met schelpgruis en talrijke houtresten	3,90	4,50
7	idem, met brokjes van donkergrijze klei	4,50	5,80
8	idem, met brokjes van blauwgroene klei	5,80	6,20
9	veen	6,20	6,30
10	grijs zeer fijn zand met schelpgruis en talrijke houtrestjes	6,30	7,50
11	idem, met brokjes van bruine klei	7,50	7,80
12	idem, met brokjes van donkergrijze klei	7,80	8,20
13	idem	8,20	9,30
14	groenblauwe plastische klei met kalkkonkreties, veenbrokjes en schelpjes	9,30	11,00
15	idem, met veel schelpgruis doch zonder kalkkonkreties	11,00	13,00
16	cfr. 15, doch met weinig schelpgruis	13,00	17,50
17	blauwe plastische klei met gepyritiseerd hout aan de basis	17,50	19,00
18	blauwe zeer stijve klei (Yc)	19,00	22,00

BORING NR. SB21

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 7,75-8,75 m

x = 36360

y = 185345

z = 4,296

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende klei met stenen	0,00	0,30
2	lichtgrijsbruine klei met stenen	0,30	1,00
3	roestbruin fijn zand met schelpgruis	1,00	2,00
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtrestjes	2,00	3,80
5	veen	3,80	3,90
6	grijs fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en kleibrokken	3,90	4,80
7	veen	4,80	4,90
8	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtrestjes	4,90	6,00
9	idem, met kleibrokjes	6,00	6,50
10	cfr. 8	6,50	8,00
11	idem, doch met brokjes van blauwe klei	8,00	8,80
12	blauwe zeer stijve klei (Yc)	8,80	11,00

BORING NR. SB22

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 5,5-6,5 m
F2 = 2,5-3,5 m

x = 34,345
y = 183745
z = 4,703

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,50
2	lichtbruine zandhoudende klei	0,50	0,80
3	roestbruin fijn zand met weinig schelpgruis en kleibrokjes	0,80	1,50
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtresten	1,50	3,50
5	idem, weinig kleihoudend	3,50	4,50
6	cfr. 4, doch met brokjes van donkergrijze veenhoudende klei	4,50	5,00
7	veen	5,00	5,10
8	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtresten	5,10	6,50
9	idem, met brokjes van blauwe klei	6,50	6,80
10	bruine sterk veenhoudende en weinig zandhoudende klei	6,80	7,20
11	bruine zeer sterk veenhoudende klei met planteresten	7,20	10,20
12	blauwe plastische klei	10,20	13,40
13	blauwe zeer stijve klei met een bruingroene topzone (Yc)	13,40	16,00

BORING NR. SB23

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 29795
y = 182765
z = 4,382

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruingrijze klei met roestvlekken	0,20	0,50
3	grijze stijve klei	0,50	1,10
4	roestbruin fijn zand	1,10	1,90
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtresten	1,90	4,00
6	veen	4,00	4,10
7	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtresten	4,10	5,30
8	veen	5,30	5,40
9	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtresten	5,40	5,90

10	bruینگrijze sterk veenhoudende klei met veenbrokken	5,90	8,40
11	bruin weinig kleihoudend veen met grote planteresten	8,40	9,80
12	lichtgrijze plastische klei met kalkbrokjes	9,80	12,50
13	grijsblauwe plastische klei met kalkbrokjes	12,50	19,10
14	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	19,10	20,00

BORING NR. SB24

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,8-6,8 m

x = 29185
y = 182225
z = 4,429

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruینگrijze klei	0,20	0,50
3	lichtgrijsbruine klei	0,50	1,10
4	roestbruin fijn zand	1,10	1,80
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, talrijke houtresten en kleibrokjes	1,80	3,40
6	idem, doch zonder kleibrokjes	3,40	6,80
7	veen	6,80	7,00
8	bruینگrijze sterk veenhoudende plastische klei	7,00	7,20
9	grijsgroene plastische klei met weinig schelpgruis en enkele volledige schelpjes	7,20	11,00
10	grijsblauwe plastische klei	11,00	13,30
11	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	13,30	16,00

BORING NR. SB25

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 38765
y = 188000
z = 3,842

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,90
2	grijze stijve klei	0,90	1,60
3	roestbruin weinig kleihoudend fijn zand met schelpgruis	1,60	2,80
4	grijze zeer stijve klei (Yc) ; blauw vanaf 3,5 m.	2,80	6,00

BORING NR. SB26

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 17,0-18,0 m
F2 = 4,5-5,5 m

x = 35900
y = 196040
z = 4,005

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,40
2	bruinigrijze klei met roestvlekken en enkele schelpfragmenten	0,40	1,00
3	lichtgrijsbruine klei	1,00	1,40
4	bruin kleihoudend fijn zand	1,40	1,70
5	grijze veenhoudende plastische klei	1,70	2,00
6	grijs fijn zand met houtrestjes, veel schelpfragmenten en schelpen en talrijke brokjes van veenhoudende klei	2,00	9,00
7	grijs middelmatig zand met kleibrokjes, schelpgruis en hout	9,00	12,00
8	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	12,00	15,60
9	grijs fijn tot middelmatig zand met houtrestjes, veenbrokken, brokjes van grijze veenhoudende klei en zeer veel grof schelpgruis	15,60	17,00
10	idem, doch thans brokjes van blauwe klei	17,00	18,30
11	blauwe zeer stijve klei (Yc)	18,30	21,00

BORING NR. SB27

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 8,5-9,5 m
F2 = 3,0-4,0 m

x = 35895
y = 195665
z = 3,579

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine veenhoudende en zandhoudende klei met stenen	0,00	0,30
2	grijsbruine klei met weinig schelpgruis en stenen	0,30	0,50
3	lichtgrijze klei met stenen	0,50	1,20
4	zwartgrijze zeer plastische klei	1,20	2,00
5	lichtgrijze weinig zandhoudende plastische klei	2,00	2,20
6	grijs fijn zand met talrijke houtresten, veel schelpfragmenten en schelpen, brokjes van grijze klei en veenbrokken	2,20	4,00
7	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	4,00	6,00
8	grijs fijn zand met veel schelpfragmenten, houtrestjes en brokjes van grijze leem	6,00	8,50

9	grijs middelmatig zand met houtrestjes en veel schelpgruis	8,50	9,70
10	grijze plastische klei met schelpen	9,70	11,50
11	lichtgrijs kleihoudend fijn zand met schelpen	11,50	14,00
12	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	14,00	16,00

BORING NR. SB28

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
 Filterdiepte : F1 = 17,5-18,5 m
 F2 = 4,4-5,4 m

x = 36110
 y = 196360
 z = 3,851

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,20
2	bruینگrijze klei met roestvlekken en stenen	0,20	1,50
3	lichtgrijsbruine weinig zandhoudende klei met houtrestjes	1,50	2,00
4	grijze weinig zandhoudende klei met veel houtrestjes	2,00	2,30
5	grijs fijn zand met houtrestjes, veel schelpfragmenten en schelpen en brokjes van grijze veenhoudende klei	2,30	4,00
6	idem, doch minder schelpen en schelpfragmenten	4,00	6,50
7	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	6,50	9,00
8	veen	9,00	9,10
9	grijs fijn zand met houtrestjes, weinig schelpgruis en brokjes van grijze veenhoudende klei	9,10	10,00
10	idem, doch meer kleibrokjes	10,00	14,00
11	idem, doch veel schelpgruis en brokjes van blauwe klei	14,00	15,00
12	idem, doch weinig schelpgruis en brokjes van grijze klei	15,00	16,00
13	idem, doch meer schelpgruis en veel kleibrokjes	16,00	17,50
14	grijs middelmatig zand met veel schelpfragmenten en hout	17,50	18,50
15	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc) met aan de top een bruine verweringszone	18,50	21,00

BORING NR. SB29

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 8,5-9,5 m
F2 = 4,0-5,0 m

x = 36005
y = 196685
z = 3,919

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,30
2	bruinigrijze klei met stenen	0,30	0,50
3	lichtgrijsbruine klei met roestniveaus	0,50	1,30
4	grijze veenhoudende en zandhoudende plastische klei	1,30	1,80
5	grijs fijn zand met houtrestjes, weinig schelpgruis en veel brokken van grijze veenhoudende klei	1,80	2,80
6	grijs fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	2,80	5,00
7	idem, met enkele grotere schelpfragmenten	5,00	6,50
8	veen	6,50	6,55
9	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, houtrestjes en talrijke brokjes van grijze veenhoudende klei	6,55	9,00
10	idem, ook met veenbrokjes	9,00	10,00
11	grijze weinig veenhoudende plastische klei	10,00	17,00
12	grijze weinig zandhoudende plastische klei	17,00	24,40
13	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	24,40	26,00

BORING NR. SB30

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 12,5-13,5 m
F2 = 4,0-5,0 m

x = 35535
y = 195145
z = 4,381

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine sterk zandhoudende klei	0,00	0,20
2	bruine zandhoudende klei	0,20	0,30
3	bruinigrijze klei	0,30	0,50
4	lichtbruine klei	0,50	0,80
5	lichtbruinigrijze weinig zandhoudende klei met roestniveaus	0,80	1,30
6	grijsbruin fijn zand met houtrestjes en veel schelpgruis	1,30	2,00
7	grijs middelmatig zand met houtrestjes, veel schelpgruis schaarse veenbrokjes en brokjes van grijze veenhoudende klei	2,00	3,00

8	grijs middelmatig zand met houtrestjes en veel schelpgruis	3,00	5,00
9	grijs fijn tot middelmatig zand met schelpgruis, en enkele volledige schelpen	5,00	7,00
10	idem, doch minder schelpgruis	7,00	8,00
11	idem, weinig schelpgruis en kleibrokjes	8,00	9,00
12	idem, talrijke kleibrokjes	9,00	10,00
13	grijs kleihoudend fijn zand met schelpgruis en houtrestjes	10,00	12,00
14	idem, met dunne kleilaagjes	12,00	12,90
15	veen	12,90	13,00
16	grijs fijn zand met zeer veel schelpfragmenten	13,00	13,50
17	blauwe zeer vaste klei (Yc)	13,50	16,00

BORING NR. SB31

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
 Filterdiepte : F1 = 12,0-13,0 m
 F2 = 4,5-5,5 m

x = 35255
 y = 194135
 z = 4,305

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine sterk zandhoudende klei	0,00	0,20
2	bruin sterk kleihoudend fijn zand	0,20	0,50
3	blauwgroen kleihoudend fijn zand met brokjes van zwarte klei	0,50	1,10
4	grijs zeer fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	1,10	3,50
5	idem, met brokjes van zwarte klei	3,50	4,00
6	idem, zonder kleibrokjes	4,00	5,00
7	grijs middelmatig zand met meer schelpgruis en houtrestjes	5,00	7,00
8	grijs fijn zand met houtrestjes en veel schelpfragmenten en volledige schelpen	7,00	8,00
9	idem, met brokjes van grijze en blauwe klei	8,00	10,00
10	grijs middelmatig zand met houtrestjes, zeer veel schelpgruis en brokjes van zwarte klei	10,00	11,00
11	grijs middelmatig zand met zeer veel schelpfragmenten en brokjes van blauwe klei	11,00	13,40
12	blauwe zeer stijve klei (Yc)	13,40	16,00

BORING NR. SB32

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 10,0-11,0 m
F2 = 4,0-5,0 m

x = 35150
y = 194575
z = 4,081

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine sterk zandhoudende klei	0,00	0,30
2	lichtbruingrijze klei met roestniveaus	0,30	1,10
3	bruingrijs kleihoudend fijn zand	1,10	1,80
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	1,80	2,50
5	grijs zeer fijn zand met houtrestjes en vrij veel schelpgruis (enkele volledige schelpen) en brokjes van grijze klei	2,50	3,00
6	idem, doch minder volledige schelpen en geen kleibrokjes	3,00	4,00
7	idem, doch weinig schelpgruis en kleibrokjes	4,00	6,00
8	idem, thans brokjes van blauwe klei	6,00	11,40
9	blauwe palstische klei	11,40	11,80
10	grint van zwarte silex	11,80	11,90
11	blauwe zeer stijve klei (Yc)	11,90	14,00

BORING NR. SB33

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 15,5-16,5 m
F2 = 4,25-5,25 m

x = 35210
y = 193735
z = 4,089

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine sterk zandhoudende klei met stenen	0,00	0,30
2	bruingrijze klei met roestniveaus	0,30	1,30
3	bruingrijs kleihoudend fijn zand	1,30	1,60
4	grijs fijn zand met houtrestjes en schelpgruis (enkele volledige schelpen)	1,60	3,00
5	idem, doch meer schelpen	3,00	4,00
6	grijs middelmatig zand met houtrestjes, weinig schelpgruis en brokjes van blauwe en zwarte klei	4,00	6,00
7	idem, doch veel grote schelpfragmenten en veel kleibrokjes	6,00	9,00
8	idem, uiterst veel schelpgruis	9,00	10,00
9	idem, doch minder schelpgruis	10,00	12,00

10	grijs fijn zand met houtrestjes en schelpgruis	12,00	13,00
11	grijs middelmatig zand met zeer veel schelpfragmenten, houtrestjes en brokjes van zwarte klei	13,00	15,00
12	idem, thans ook volledige schelpen en brokjes van blauwe klei	15,00	16,00
13	grijs fijn zand met houtrestjes en schelpgruis	16,00	17,00
14	grijs fijn zand met zeer veel schelpgruis en brokjes van blauwe klei	17,00	17,30
15	grint van zwarte silex	17,30	17,35
16	blauwe zeer stijve klei (Yc)	17,35	20,00

BORING NR. SB34

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
 Filterdiepte : F1 = 12,8-13,8 m
 F2 = 5,0-6,0 m

x = 35380
 y = 194810
 z = 3,603

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	1,00
2	bruingrijs fijn zand met houtrestjes en vrij veel schelpgruis	1,00	2,00
3	grij(bruin) fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	2,00	3,00
4	grijs(bruin) middelmatig zand met veel schelpfragmenten en houtrestjes	3,00	5,00
5	veen	5,00	5,10
6	cfr. 4, met brokjes van bruine klei	5,10	7,30
7	veen	7,30	7,35
8	grijs fijn zand met houtrestjes, schelpgruis en brokjes van donkergrijze klei	7,35	10,00
9	idem, thans ook brokjes van blauwe klei	10,00	11,00
10	idem, doch zeer veel schelpgruis en ook enkele veenbrokjes	11,00	12,00
11	idem, doch weinig schelpgruis en geen kleibrokjes	12,00	13,00
12	grijs middelmatig zand met zeer veel schelpgruis en brokjes van blauwe klei	13,00	13,80
13	grint van zwarte silex	13,80	13,85
14	blauwe zeer stijve klei (Yc)	13,85	16,00

BORING NR. SB35

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 10,0-11,0 m
F2 = 4,5-5,5 m

x = 36105
y = 196880
z = 3,959

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,30
2	bruینگrijze klei met roestvlekken en stenen	0,30	1,10
3	grijze zeer plastische klei	1,10	1,50
4	afwisseling van grijs kleihoudend fijn zand en grijze klei	1,50	3,00
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en talrijke brokjes van grijze klei	3,00	4,00
6	idem, doch minder kleibrokjes	4,00	6,00
7	grijs middelmatig zand met weinig schelpgruis	6,00	8,00
8	grijs fijn tot middelmatig zand met weinig schelpgruis	8,00	11,20
9	grijze weinig veenhoudende klei met zandhoudende lagen	11,20	21,40
10	grijze zeer stijve klei (Yc)	21,40	24,00

BORING NR. SB36

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 3,5-4,5 m

x = 35060
y = 193129
z = 4,094

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,40
2	bruینگrijze stijve klei	0,40	0,80
3	bruینگrijze plastische klei	0,80	1,30
4	grijze veenhoudende klei met veenbrokken en houtresten	1,30	2,50
5	grijs fijn zand met houtrestjes, talrijke grote schelpfragmenten en brokjes van grijze klei	2,50	3,00
6	grijs fijn zand met schaarse houtrestjes en weinig schelpgruis	3,00	4,00
7	idem, met brokjes van blauwe klei	4,00	5,00
8	idem, met zeer veel schelpfragmenten en talrijke kleibrokjes	5,00	6,60
9	bruin veen	6,60	6,70
10	grijze veenhoudende plastische klei	6,70	8,50
11	blauwe plastische klei	8,50	9,40

12 blauwe zeer stijve klei (Yc)

9,40

12,00

BORING NR. SB37

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
 Filterdiepte : F = 8,5-9,5 m

x = 34836
 y = 197362
 z = 3,398

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,40
2	bruinigrijze veenhoudende klei met steengruis	0,40	1,30
3	zwarte leem met grote schelpfragmenten en schelpen	1,30	2,00
4	grijze weinig veenhoudende plastische klei	2,00	3,90
5	bruin kleihoudend veen	3,90	4,00
6	grijs fijn zand met veel schelpgruis en weinig houtrestjes	4,00	5,00
7	idem, doch weinig schelpgruis	5,00	8,00
8	idem, meer schelpgruis	8,00	8,70
9	grijs middelmatig zand met zeer veel schelpgruis	8,70	9,60
10	grijze weinig veenhoudende plastische klei met schelpen	9,60	13,00
11	blauwe plastische klei	13,00	13,80
12	grijze zeer stijve klei (Yc)	13,80	16,00

BORING NR. SB38

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
 Filterdiepte : F1 = 27,0-28,0 m
 F2 = 5,0-6,0 m

x = 35065
 y = 196595
 z = 3,917

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,30
2	bruinigrijze klei met steengruis en roestvlekken	0,30	0,70
3	lichtbruine plastische klei	0,70	1,25
4	grijze weinig veenhoudende plastische klei	1,25	1,90
5	grijze sterk zandhoudende plastische klei met houtrestjes en weinig schelpgruis	1,90	2,60
6	grijs fijn zand met enkele schelpfragmenten en weinig hout	2,60	3,00
7	idem, doch veel schelpfragmenten en schelpen	3,00	4,00

8	idem, doch weinig schelpgruis en brokjes van blauwe klei	4,00	7,00
9	idem, weinig schelpgruis en veel kleibrokken	7,00	8,00
10	idem, weinig schelpgruis en geen kleibrokken	8,00	9,50
11	veen	9,50	9,60
12	grijs fijn zand met grote houtresten, veel kleibrokjes, veel schelpgruis en enkele veenbrokjes	9,60	13,00
13	grijs fijn zand met schelpgruis en houtrestjes	13,00	15,30
14	veen	15,30	15,35
15	grijs middelmatig zand met veel schelpgruis en kleibrokjes	15,35	16,00
16	idem, zonder kleibrokjes	16,00	18,50
17	idem, opnieuw brokjes van grijze en blauwe klei	18,50	22,00
18	grijs fijn zand met veel schelpgruis en kleibrokjes	22,00	23,50
19	grijs grof zand met uiterst veel schelpgruis en brokjes van blauwe klei	23,50	24,00
20	grijs middelmatig tot grof zand met uiterst veel schelpgruis (schelpenlagen) en brokjes van blauwe klei	24,00	29,30
21	grint van zwarte silex	29,30	29,35
22	grijsgroene zeer stijve klei (Yc)	29,35	30,00

BORING NR. SB39

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
 Filterdiepte : F1 = 19,0-20,0 m
 F2 = 4,0-5,0 m

x = 35435
 y = 196220
 z = 3,831

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,30
2	bruinigrijze veenhoudende klei	0,30	0,60
3	lichtbruine stijve klei met roestvlekken	0,60	1,40
4	grijsbruine weinig veenhoudende klei met houtresten	1,40	1,90
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	1,90	2,50
6	grijsbruin fijn zand met talrijke schelpfragmenten en volledige schelpen, en kleibrokjes	2,50	3,50
7	grijsbruin fijn zand met houtrestjes en schelpgruis	3,50	5,50
8	grijs middelmatig zand met schelpgruis, houtrestjes en grintelementen (grove melkkwartskorrels)	5,50	6,50

9	idem, veel schelpgruis en brokken van blauwe klei	6,50	8,00
10	grijs fijn zand met talrijke houtrestjes, veel schelpgruis en talrijke kleibrokjes	8,00	11,00
11	idem, ook enkele veenbrokjes	11,00	13,00
12	grijs middelmatig zand met houtrestjes, zeer veel schelpgruis, kleibrokjes en grintelementen	13,00	17,00
13	grijs fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en veel kleibrokjes	17,00	20,50
14	blauwgrijze plastische klei	20,50	21,80
15	grijze zeer stijve klei (Yc)	21,80	24,00

BORING NR. SB40

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
 Filterdiepte : F1 = 17,0-18,0 m
 F2 = 5,0-6,0 m

x = 36775
 y = 196075
 z = 4,087

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,50
2	bruینگrijze veenhoudende klei met steengruis en roestvlekken	0,50	1,50
3	grijs fijn zand met houtresten, schelpfragmenten en volledige schelpen	1,50	2,50
4	grijs fijn zand met houtrestjes, weinig schelpgruis en brokjes van grijze veenhoudende klei	2,50	3,50
5	idem, zonder kleibrokjes	3,50	7,00
6	grijs middelmatig zand met houtrestjes, veel schelpgruis en brokjes van blauwe klei	7,00	8,00
7	grijs fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	8,00	10,00
8	idem, met brokjes van grijze klei	10,00	12,00
9	idem, meer schelpgruis en geen kleibrokjes	12,00	13,00
10	idem, weinig schelpgruis	13,00	14,00
11	idem, veel schelpgruis	14,00	16,00
12	idem, weinig schelpgruis en opnieuw kleibrokjes	16,00	18,00
13	grijs middelmatig tot grof zand met zeer veel schelpfragmenten, talrijke brokjes van blauwe klei en grintelementen	18,00	19,10
14	blauwgrijze plastische klei	19,10	19,90
15	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	19,90	22,00

BORING NR. SB41

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 11,5-12,5 m
F2 = 5,0-6,0 m

x = 38065
y = 196287
z = 3,845

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruingrijze veenhoudende klei	0,00	0,30
2	beige klei met roestvlekken en houtrestjes	0,30	1,70
3	grijze weinig veenhoudende plastische klei	1,70	3,00
4	grijze veenhoudende plastische klei met veenbrokken, laagjes van grijs fijn zand en volledige schelpen	3,00	3,80
5	grijs fijn zand met houtrestjes, talrijke volledige schelpen en talrijke kleibrokjes	3,80	5,00
6	grijs middelmatig zand met veel schelpgruis en houtrestjes	5,00	6,00
7	grijs grof zand met veel schelpgruis en houtrestjes	6,00	8,00
8	grijs middelmatig zand met schelpgruis, houtrestjes en veenbrokken tussen 8 en 9 m diepte	8,00	10,00
9	grijs fijn zand met schelpgruis, houtrestjes, veenbrokken en talrijke kleibrokjes	10,00	12,60
10	grijze weinig veenhoudende plastische klei met meer zandhoudende zones	12,60	19,10
11	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	19,10	22,00

BORING NR. SB42

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 23,5-24,5 m
F2 = 5,0-6,0 m

x = 37424
y = 196487
z = 3,939

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine veenhoudende en zandhoudende klei	0,00	0,30
2	beige klei met roestvlekken en houtrestjes	0,30	0,80
3	roestbruin kleihoudend fijn zand met kleibrokjes	0,80	1,50
4	grijze weinig veenhoudende plastische klei	1,50	1,80
5	grijs fijn zand met houtrestjes, schelpen en kleibrokjes	1,80	2,80
6	bruin veen	2,80	3,10
7	grijs fijn zand met zeer veel schelpen en talrijke kleibrokjes	3,10	4,00

8	grijs grof zand met talrijke volledige schelpen, veel schelpgruis houtrestjes en brokjes van blauwe klei	4,00	6,00
9	idem, geen volledige schelpen	6,00	8,00
10	grijs fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en kleibrokjes	8,00	13,00
11	idem, meer schelpgruis	13,00	14,50
12	afwisseling van grijs fijn zand met dunne laagjes van grijze veenhoudende plastische klei	14,50	16,00
13	grijs fijn tot middelmatig zand met vrij veel schelpgruis, houtrestjes en kleibrokjes	16,00	18,00
14	grijs fijn zand met houtrestjes, schelpgruis en kleilaagjes	18,00	22,00
15	idem, zonder kleilaagjes	22,00	23,00
16	idem, veenhoudend	23,00	24,50
17	grijze plastische klei	24,50	26,00
18	donkergrijze plastische klei met veenlaagje op ca. 27 m diepte	26,00	29,70
19	blauwgrijze plastische klei (Yc)	29,70	30,00

BORING NR. SB43

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 11,35-12,35 m
F2 = 4,5-5,5 m

x = 38606
y = 196326
z = 3,821

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine veenhoudende en zandhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze veenhoudende klei	0,20	0,80
3	beige stijve klei met roestvlekken	0,80	1,30
4	grijze weinig veenhoudende plastische klei met talrijke volledige schelpen en houtrestjes	1,30	4,30
5	grijs fijn zand met weinig houtrestjes en schelpgruis	4,30	10,00
6	grijs middelmatig zand met meer schelpgruis, houtrestjes en brokjes van grijze klei	10,00	12,50
7	blauwgrijze plastische klei met een veenlaagje op 13,1 m	12,50	13,60
8	grint van zwarte silex	13,60	13,65
9	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	13,65	16,00

BORING NR. SB44

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 7,0-8,0 m

x = 39096
y = 196825
z = 2,853

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine veenhoudende en zandhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze veenhoudende klei	0,20	0,80
3	roestbruine stijve klei met roestniveaus	0,80	1,20
4	blauwgrijze plastische klei met schelpgruis	1,20	1,30
5	donkerbruin kleihoudend veen	1,30	1,50
6	blauwgrijze plastische klei	1,50	3,30
7	lichtbruin veen met rietstengels	3,30	3,50
8	lichtblauwe plastische klei	3,50	4,00
9	(blauw)grijze sterk veenhoudende plastische klei	4,00	5,30
10	donkerbruin veen	5,30	5,50
11	blauwgrijze plastische klei	5,50	6,20
12	grijs fijn zand met houtrestjes, weinig schelpgruis en zeer veel brokjes van grijze klei	6,20	9,00
13	idem, minder kleibrokjes	9,00	10,00
14	idem, veel schelpgruis en meer kleibrokjes	10,00	13,80
15	afwisseling van blauwe klei met grijs middelmatig zand	13,80	15,30
16	blauwgrijze plastische klei	15,30	19,40
17	grint van zwarte en bruine slix	19,40	19,45
18	blauwgrijze plastische klei	19,45	19,60
19	grint van zwarte en bruine silex	19,60	19,65
20	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	19,65	22,00

BORING NR. SB45

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 7,0-8,0 m

x = 36895
y = 192420
z = 3,132

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,50
2	bruinigrijze veenhoudende klei	0,50	1,25

3	bruine sterk veenhoudende klei met rietstengels	1,25	1,60
4	grijze veenhoudende plastische klei	1,60	2,80
5	grijs zeer fijn zand met weinig schelpgruis en zeer veel houtrestjes	2,80	3,50
6	idem, minder houtresten en brokjes van grijze sterk veenhoudende plastische klei	3,50	8,30
7	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	8,30	10,00

BORING NR. SB46

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 4,0-5,0 m

x = 37270
y = 190925
z = 3,551

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine veenhoudende en zandhoudende klei met stenen	0,00	0,50
2	bruine veenhoudende klei met roestvlekken	0,50	1,50
3	donkergrijs fijn zand met uiterst veel houtresten	1,50	2,00
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, houtrestjes en brokjes van grijze veenhoudende klei	2,00	4,00
5	grijs fijn zand met schelpgruis en houtrestjes	4,00	5,20
6	veen	5,20	5,30
7	grijs fijn zand met veel schelpgruis, houtrestjes en brokjes van blauwe klei	5,30	5,70
11	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	5,70	8,00

BORING NR. SB47

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 6,0-7,0 m

x = 39785
y = 190115
z = 4,048

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,20
2	beige klei met roestvlekken en stenen	0,20	1,00
3	roestbruin fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	1,00	1,50
4	grijs fijn zand met houtrestjes, weinig schelpgruis en schaarse kleibrokjes	1,50	3,00
5	idem, zonder kleibrokjes	3,00	4,00
6	idem, vrij veel schelpgruis	4,00	7,00

BORING NR. SB49

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 18,0-19,0 m
F2 = 5,0-6,0 m

x = 36065
y = 195470
z = 3,921

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei met stenen	0,00	0,20
2	bruینگrijze veenhoudende klei	0,20	1,40
3	bruینگrijs kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	1,40	1,80
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, enkele volledige schelpen, houtrestjes en kleibrokjes	1,80	3,00
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, houtrestjes en talrijke kleibrokjes	3,00	5,00
6	grijs fijn tot middelmatig zand met schelpgruis, houtrestjes en kleilaagjes	5,00	8,00
7	grijs middelmatig zand met schelpgruis en houtrestjes	8,00	14,00
8	idem, veel schelpgruis	14,00	14,80
9	grijze plastische klei	14,80	15,00
10	grijs grof zand met houtrestjes en zeer veel schelpgruis (schelpenlagen)	15,00	18,90
11	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	18,90	20,00

BORING NR. SB50

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 40810
y = 188975
z = 4,044

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,30
2	bruینگrijze veenhoudende klei	0,30	0,50
3	beige klei met roestvlekken	0,50	1,20
4	grijze veenhoudende plastische klei	1,20	1,90
5	roodbruin veen	1,90	4,50
6	grijze veenhoudende plastische klei	4,50	5,50
7	grijs fijn zand met zeer weinig schelpgruis	5,50	6,40
8	blauwgrijze plastische klei	6,40	8,50

9	blauwgrijze zandhoudende plastische klei	8,50	10,00
10	blauwgrijze sterk zandhoudende klei met zandlaagjes	10,00	12,50
11	idem, zonder zandlaagjes	12,50	14,00
12	idem, met zandlaagjes	14,00	15,80
13	idem, zonder zandlaagjes	15,80	17,00
14	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	17,00	18,00

BORING NR. SB51

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 41020
y = 188575
z = 3,563

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine veenhoudende en zandhoudende klei	0,00	0,20
2	beige klei met roestvlekken en houtrestjes	0,20	0,80
3	roestbruin kleihoudend fijn zand	0,80	1,70
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, houtrestjes en talrijke kleibrokjes	1,70	2,10
5	roodbruin veen	2,10	4,10
6	(blauw)grijze veenhoudende plastische klei	4,10	4,80
7	blauwgrijs fijn zand	4,80	5,50
8	blauwgrijze veenhoudende plastische klei met zandlaagjes en kalkbrokjes	5,50	11,00
9	idem, thans ook met schelpgruis	11,00	12,80
10	grint van bruine silex	12,80	12,85
11	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	12,85	16,00

BORING NR. SB52

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 41525
y = 189700
z = 4,066

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende klei met stenen	0,00	0,30
2	bruine klei	0,30	0,60
3	beige klei met roestvlekken en schaarse houtrestjes. Stenen tot 1,0 m diepte.	0,60	1,70

4	grijze veenhoudende plastische klei	1,70	2,50
5	donkergrijze veenhoudende plastische klei	2,50	3,30
6	lichtgrijze veenhoudende plastische klei	3,30	4,90
7	roodbruin veen	4,90	6,30
8	blauwgrijze veenhoudende plastische klei	6,30	7,50
9	bruin veen	7,50	8,10
10	blauwgrijze veenhoudende plastische klei	8,10	9,20
11	bruin veen	9,20	10,00
12	blauwgrijze (sterk) veenhoudende plastische klei	10,00	11,00
13	blauwe plastische klei met weinig organisch materiaal en talrijke kalkbrokjes (kalklaagjes)	11,00	14,70
14	blauwgrijs fijn zand	14,70	14,90
15	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	14,90	17,00

BORING NR. SB53

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x =
y =
z =

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine weinig veenhoudende klei met steengruis	0,00	0,50
2	grijsbruine veenhoudende plastische klei	0,50	0,80
3	geelbruine zandhoudende plastische klei	0,80	1,70
4	roestbruin kleihoudend fijn zand met dunne kleilaagjes	1,70	3,00
5	roestbruin, weinig glauconiethoudend fijn zand	3,00	3,80
6	lichtgrijs weinig glauconiethoudend fijn zand met schelpgruis en talrijke houtrestjes (veenlaagje op 4,2 m diepte)	3,80	4,50
7	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	4,50	8,00

7	idem, weinig schelpgruis en talrijke brokjes van grijze klei	7,00	8,00
8	afwisseling van grijs fijn zand met klei- en veenlaagjes	8,00	9,00
9	grijs middelmatig zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	9,00	10,00
10	grijs grof zand met zeer veel schelpgruis (schelpenlagen) en talrijke brokjes van blauwe klei	10,00	10,90
11	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	10,90	14,00

BORING NR. SB48

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 14,5-15,5 m

x = 35925
y = 197195
z = 2,874

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	beige plastische klei met roestvlekken	0,00	0,90
2	bruin veen	0,90	2,70
3	grijze plastische klei, zandhoudend aan de basis	2,70	3,30
4	blauwgrijze plastische klei	3,30	5,10
5	bruin veen	5,10	5,60
6	blauwgrijze veenhoudende plastische klei	5,60	7,50
7	bruin veen	7,50	7,60
8	blauwgrijze veenhoudende plastische klei	7,60	8,00
9	grijze zandhoudende en weinig veenhoudende plastische klei met volledige schelpen	8,00	9,50
10	afwisseling van grijs fijn zand en grijze plastische klei	9,50	10,50
11	grijs kleihoudende fijn zand met brokjes van grijze klei	10,50	12,00
12	blauwgrijze plastische klei met lagen van grijsgroen middelmatig zand	12,00	14,20
13	grijsgroen glauconiethoudend zand met weinig schelpgruis ; fijn bovenaan, grof met grove melkkwartskorrels onderaan	14,20	15,90
14	blauwgrijze zeer stijve klei (Yc)	15,90	20,00

BORING NR. HSB1

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 4,5-5,5 m

x = 34913
y = 195498
z = 3,422

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruingrijze klei	0,00	1,50
2	grijs fijn zand met talrijke houtrestjes	1,50	9,50

BORING NR. HSB2

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 4,5-5,5 m

x = 34561
y = 196605
z = 3,802

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruingrijze klei, lichtgrijs aan basis	0,00	2,30
2	grijze veenhoudende plastische klei	2,30	4,00
3	grijs fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	4,00	5,80
4	grijze plastische klei	5,80	5,90
5	grijs fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	5,90	6,50

BORING NR. HSB3

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 4,9-5,9 m

x = 37145
y = 196801
z = 4,127

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruingrijze stijve klei	0,00	1,00
2	grijze veenhoudende plastische klei	1,00	2,40
3	grijs fijn zand met houtrestjes, schelpgruis en kleilaagjes	2,40	6,50

BORING NR. HSB4

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 37474
y = 195503
z = 4,041

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruingrijze stijve klei	0,00	1,20
2	grijze veenhoudende plastische klei	1,20	3,00
3	grijs fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	3,00	6,50

BORING NR. HSB5

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 4,0-5,0 m

x = 35541
y = 194425
z = 3,525

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine stijve klei	0,00	0,50
2	grijs fijn zand met grote houtbrokken en weinig schelpgruis	0,50	5,50
3	bruin veen	5,50	7,30
4	groen sterk glauconiethoudend fijn zand met dunne kleilaagjes	7,30	8,40
5	blauwe zeer stijve klei (Yc)	8,40	8,60

BORING NR. HSB6

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 38064
y = 197901
z = 3,616

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine stijve klei	0,00	0,30
2	bruinigrijze plastische klei met roestvlekken	0,30	2,00
3	grijs fijn zand met houtresten en weinig schelpgruis	2,00	6,50

BORING NR. HSB7

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 4,5-5,5 m

x = 38901
y = 187850
z = 2,684

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende en zandhoudende klei met stenen	0,00	1,25
2	bruin veen	1,25	3,20
3	blauwgrijze plastische klei	3,20	4,50
4	blauwgrijs fijn zand met weinig schelpgruis	4,50	5,30
5	blauwe zeer stijve klei (Yc)	5,30	6,00

BORING NR. HSB8

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 33050
y = 183380
z = 3,727

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
zie de beschrijving van de droge boring DB6.			

BORING NR. HSB9

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 33050
y = 183430
z = 4,155

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,30
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,30	1,60
3	grijze sterk veenhoudende plastische klei	1,60	4,90
4	bruin veen	4,90	6,30
5	bruine sterk veenhoudende klei	6,30	6,70
6	bruin veen	6,70	7,50
7	blauwgrijze stijve klei (Yc?)	7,50	9,00

BORING NR. HSB10

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 33050
y = 183500
z = 3,985

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,30
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,30	1,70
3	grijze veenhoudende plastische klei, sterk veenhoudend aan de basis	1,70	2,60
4	bruin veen	2,60	6,10
5	grijze sterk zandhoudende klei met dunne zandlaagjes	6,10	9,40
6	bruinigrijze sterk veenhoudende plastische klei met talrijke houtrestjes, planteresten en veenbrokken. Schelpjes vanaf 11,0 m diepte.	9,40	11,50
7	grijze weinig zandhoudende plastische klei	11,50	12,50

BORING NH. HSB11

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 33030
y = 183330
z = 4,647

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,15
2	grijze stijve klei met roestniveaus	0,15	1,00
3	roestbruine zandhoudende plastische klei	1,00	2,40
4	roestbruin fijn zand	2,40	2,60
5	blauwe zeer stijve klei (Yc)	2,60	3,50

BORING NR. HSB12

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 26125
y = 179415
z = - - -

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	1,00
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	1,00	2,20
3	grijze veenhoudende en weinig zandhoudende plastische klei	2,20	4,20
4	donkergrijs fijn zand met talrijke houtresten	4,20	4,50
5	blauwgrijze weinig veenhoudende plastische klei	4,50	8,80
6	blauwe stijve klei (Yc?)	8,80	11,50

BORING NR. HSB13

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 33003
y = 183577
z = 4,385

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,10
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,10	0,80
3	roestbruin fijn zand	0,80	1,90
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	1,90	4,60
5	grijs fijn zand met zeer veel houtrestjes	4,60	7,70
6	bruinigrijze zandhoudende en sterk veenhoudende plastische klei	7,70	9,50

7 blauwe stijve klei (Yc?)

9,50

10,50

BORING NR. HSB14

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 33075
y = 183660
z = 4,123

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,10
2	roestbruine zandhoudende leem met zandlaagjes	0,10	1,50
3	brijze zeer stijve klei ; de klei wordt blauwer met toenemende diepte (Yc)	1,50	2,50

BORING NR. HSB15

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 33075
y = 183630
z = 4,229

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	1,00
3	roestbruine sterk zandhoudende klei	1,00	1,70
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	1,70	2,25
5	bruinigrijze zandhoudende en sterk veenhoudende klei	2,25	3,60
6	lichtblauwe plastische klei met weinig organisch materiaal	3,60	4,70
7	blauwe stijve klei (Yc?)	4,70	5,50

BORING NR. HSB16

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 33075
y = 183637
z = 3,867

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	1,30
3	grijze zandhoudende en weinig veenhoudende plastische klei	1,30	1,60
4	bruinigrijze zandhoudende en sterk veenhoudende klei	1,60	3,10
5	blauwe zeer stijve klei (Yc)	3,10	3,50

BORING NR. HSB17

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 29780
y = 182880
z = 4,336

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	2,00
3	bruin veen	2,00	3,00
4	grijs fijn zand met houtrestjes	3,00	3,20
5	blauwgrijze zandhoudende klei met organisch materiaal	3,20	4,30
6	grint	4,30	4,35
7	blauwe zeer stijve klei (Yc)	4,35	5,50

BORING NR. HSB18

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 29790
y = 182830
z = 4,476

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	1,80
3	grijze weinig zandhoudende plastische klei	1,80	2,10
4	bruinigrijze sterk veenhoudende plastische klei	2,10	5,00
5	grijze veenhoudende plastische klei met houtresten	5,00	6,70
6	bruin veen	6,70	6,90
7	bruine sterk veenhoudende klei met houtresten	6,90	8,50
8	blauwgrijze plastische klei	8,50	8,75
9	grint	8,75	9,00
10	blauwe zeer stijve klei (Yc)	9,00	9,50

BORING NR. HSB19

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 29815
y = 182700
z = 3,976

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20

2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	1,10
3	zwarte zeer plastische leem	1,10	1,30
4	grijs fijn zand met talrijke houtrestjes en weinig kleibrokjes	1,30	2,60
5	bruin veen	2,60	3,30
6	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	3,30	4,80
7	grijze sterk veenhoudende plastische klei	4,80	8,60
8	grijze weinig veenhoudende plastische klei	8,60	9,50
9	blauwgrijze plastische klei	9,50	11,00

BORING NR. HSB20

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 29850
y = 182650
z = 3,486

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	0,90
3	bruin veen	0,90	5,50
4	bruine zeer sterk veenhoudende plastische klei	5,50	6,00
5	grijze veenhoudende plastische klei met rietstengels	6,00	7,00
6	bruinigrijze sterk veenhoudende plastische klei met talrijke houtrestjes en veel schelpjes	7,00	9,30
7	blauwgrijze weinig zandhoudende plastische klei	9,30	11,60
8	blauwe zeer stijve klei (Yc)	11,60	12,50

BORING NR. HSB21

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 29870
y = 182610
z = 3,340

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	0,90
3	bruine sterk veenhoudende klei	0,90	1,20
4	bruin veen met talrijke houtresten	1,20	5,40
5	bruinigrijze sterk veenhoudende klei met veel houtresten	5,40	7,00

6	grijze zeer plastische klei met weinig organisch materiaal	7,00	7,50
7	blauwgrijze plastische klei met houtrestjes	7,50	10,30
8	blauwe zeer stijve klei (Yc)	10,30	10,50

BORING NR. HSB22

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 29890
y = 182560
z = 3,490

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruینگrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	0,80
3	bruine sterk veenhoudende klei	0,80	1,10
4	zwartbruin veen met zeer veel houtresten	1,10	2,70
5	blauwe plastische klei met weinig organisch materiaal	2,70	5,25
6	blauwe zeer stijve klei (Yc)	5,25	5,50

BORING NR. HSB23

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 38676
y = 195864
z = 3,497

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruینگrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	1,40
3	bruin veen	1,40	3,20
4	grijs fijn tot middelmatig zand met schelpgruis	3,20	10,60
5	blauwe zeer stijve klei (Yc)	10,60	11,00

BORING NR. HSB24

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x =
y =
z =

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruینگrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	0,80
3	grijze zeer plastische klei	0,80	1,00

4	bruin veen	1,00	2,90
5	grijze plastische klei	2,90	5,00
6	bruin veen	5,00	6,00

BORING NR. HSB25

Lambertkoördinaten :

Boorwijze :	gespoeld	x =	29760
Filterdiepte :	geen	y =	182930
		z =	4,718

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruینگrijze stijve klei met roestniveaus	0,20	1,80
3	grijze zeer stijve klei (Yc)	1,80	3,00

BORING NR. HSB26

Lambertkoördinaten :

Boorwijze :	gespoeld	x =	38591
Filterdiepte :	F = 6,0-7,0 m	y =	197171
		z =	3,335

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruینگrijze vaste klei	0,00	1,50
2	grijze stijve klei met houtrestjes	1,50	2,50
3	zwarte zeer plastische leem met schelpfragmenten	2,50	3,20
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en talrijke laagjes van donkerगrijze plastische klei	3,20	5,80
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis	5,80	7,80
6	afwisseling van grijze plastische klei en grijs fijn zand	7,80	16,50
7	grijs grof zand	16,50	17,50
8	grijze plastische klei	17,50	18,00

BORING NR. HSB27

Lambertkoördinaten :

Boorwijze :	gespoeld	x =	40600
Filterdiepte :	geen	y =	191760
		z =	---

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine stijve klei	0,00	0,30
2	bruینگrijze stijve klei	0,30	1,40

3	grijze plastische klei	1,40	2,00
4	afwisseling van grijs fijn zand en grijze plastische klei	2,00	2,50
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en dunne kleilaagjes	2,50	5,20
6	blauwgrijze plastische klei met veenlaagje aan de top	5,20	5,40
7	roodbruin veen	5,40	6,60
8	grijze plastische klei	6,60	7,10
9	roodbruin veen	7,10	7,20
10	grijze plastische klei	7,20	8,00
11	grijze sterk veenhoudende plastische klei	8,00	8,60
12	grijze plastische klei	8,60	11,00
13	afwisseling van blauwgrijze plastische klei en grijsgroen grof zand	11,00	12,80
14	grijsgroen middelmatig zand	12,80	15,00
15	afwisseling van grijs fijn zand en grijze plastische klei	15,00	18,00
16	grijs fijn zand met weinig schelpgruis	18,00	18,50

BORING NR. HSB28

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 38400
y = 190810
z = 3,590

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende klei	0,00	0,20
2	beige stijve klei met roestniveaus	0,20	0,80
3	bruingrijs sterk kleihoudend fijn zand	0,80	1,20
4	grijze zeer plastische weinig veenhoudende klei	1,20	1,60
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en talrijke kleilaagjes	1,60	3,50
6	grijs fijn zand met veel houtbrokken, weinig schelpgruis en dunne kleilaagjes	3,50	9,00
7	blauwe zeer stijve klei (Yc)	9,00	9,50

BORING NR. HSB29

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 34202
y = 196920
z = 3,874

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende klei	0,00	0,20
2	bruinigrijze stijve klei	0,20	1,30
3	bruin grijs kleihoudend fijn zand	1,30	2,00
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis. Veenlaagje op 15,0 m diepte. Zones met middelmatig zand met meer schelpgruis zijn aanwezig.	2,00	18,50

BORING NR. HSB30

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 38096
y = 195189
z = 3,973

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	bruin fijn zand met stenen	0,20	0,50
3	bruinigrijze stijve klei	0,50	2,00
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en tamelijk veel kleilaagjes. Kleihoudende zone op 9,0 m diepte.	2,00	13,80
5	blauwe zeer stijve klei (Yc)	13,80	14,00

BORING NR. HSB31

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 39025
y = 193870
z = ---

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende klei	0,00	0,50
2	bruine veenhoudende klei met houtrestjes	0,50	0,70
3	bruinigrijze stijve klei	0,70	1,60
4	grijze sterk veenhoudende plastische klei	1,60	3,80
5	roodbruin veen	3,80	5,00
5	grijze weinig zandhoudende plastische klei	5,00	6,00

BORING NR. HSB32

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 34534
y = 193546
z = 3,997

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende klei	0,00	0,10
2	bruin kleihoudend fijn zand	0,10	0,50
3	beige stijve klei met roestvlekken	0,50	0,90
4	bruingrijs kleihoudend fijn zand	0,90	1,20
5	grijze plastische klei	1,20	1,40
6	grijs fijn tot middelmatig zand met schelpgruis en houtrestjes	1,40	7,00
7	grijs fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en laagjes van blauwe klei	7,00	8,00
8	grijs grof zand met veel schelpgruis en kleilaagjes	8,00	8,80
9	bruin veen	8,80	9,00
10	blauwe zeer stijve klei (Yc)	9,00	9,50

BORING NR. HSB33

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F1 = 5,0-6,0 m
F2 = 2,5-3,5 m

x = 36052
y = 195300
z = 3,773

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende klei	0,00	0,10
2	bruin kleihoudend fijn zand	0,10	0,50
3	bruingrijze stijve klei	0,50	1,80
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en tamelijk veel kleilaagjes.	1,80	3,80
5	roodbruin veen	3,80	4,50
6	grijs fijn tot middelmatig zand met schelpgruis. Grof zand met veel schelpgruis aan de basis.	4,50	16,00
7	blauwe zeer stijve klei (Yc)	16,00	16,50

BORING NR. HSB34

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 27760
y = 181050
z = 4,329

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,30
2	bruingrijze stijve klei	0,30	0,90
3	roestbruine stijve klei met houtrestjes	0,90	1,40
4	donkerbruine sterk veenhoudende klei	1,40	1,50
5	grijze sterk veenhoudende plastische klei	1,50	1,60
6	grijs fijn zand met weinig schelpgruis	1,60	1,90
7	bruingrijze sterk veenhoudende plastische klei	1,90	2,10
8	bruin veen	2,10	3,40
9	bruingrijze zeer sterk veenhoudende plastische klei	3,40	3,80
10	grijze veenhoudende plastische klei	3,80	4,00
11	bruingrijze zeer sterk veenhoudende plastische klei	4,00	4,50
12	grijze veenhoudende klei met zandlaagjes en kalkbrokjes	4,50	5,50
13	grijsbruine tot donkergrijze sterk veenhoudende plastische klei met grote houtresten	5,50	6,60
14	blauwgrijze weinig veenhoudende klei met kalkbrokjes	6,60	8,20
15	grijsbruine veenhoudende plastische klei	8,20	8,60
16	blauwgrijze weinig veenhoudende plastische klei met kalkbrokjes	8,60	13,00
17	blauwgrijze plastische klei met laagjes van grijs grof zand met schelpjes	13,00	16,80
18	grijs fijn zand met schelpgruis	16,80	17,50
19	blauwe zeer stijve klei (Yc)	17,50	18,00

BORING NR. HSB35

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 27790
y = 181000
z = 4,463

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruingrijze stijve klei	0,00	0,70
2	idem, met houtresten	0,70	0,90

3	bruingrijs kleihoudend fijn zand met houtresten	0,90	1,30
4	bruingrijze sterk veenhoudende plastische klei	1,30	1,50
5	grijze zandhoudende plastische klei	1,50	1,90
6	grijs fijn zand met veel schelpgruis en houtrestjes	1,90	3,50
7	grijsblauwe plastische klei	3,50	4,00
8	bruingrijze sterk veenhoudende plastische klei met houtresten en talrijke schelpjes	4,00	7,40
9	blauwe weinig veenhoudende plastische klei	7,40	8,50
10	blauwgrijze plastische klei met veel kalkbrokjes en dunne laagjes van zeer fijn zand	8,50	10,70
11	blauwe zeer stijve klei met bruine verwerking aan de top (Yc)	10,70	11,00

BORING NR. **HSB36**

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 27840
y = 180950
z = 4,559

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	beige stijve klei met roestvlekken en houtresten	0,20	1,50
3	grijze weinig veenhoudende plastische klei	1,50	1,70
4	grijs kleihoudend fijn zand met schelpgruis en houtbrokken	1,70	5,80
5	blauwgrijze plastische klei met kalkbrokjes	5,80	6,00
6	blauwe zeer stijve klei (Yc)	6,00	6,30

BORING NR. **HSB37**

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 27860
y = 180900
z = 4,615

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	beige stijve klei met roestvlekken en houtresten	0,20	1,50
3	grijsblauwe veenhoudende en zandhoudende plastische klei met houtrestjes	1,50	3,20
4	blauwe zeer stijve klei (Yc)	3,20	3,50

BORING NR. HSB30

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geenx = 27775
y = 181025
z = 4,529

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende en veenhoudende klei	0,00	0,20
2	beige stijve klei met roestvlekken en houtresten	0,20	1,40
3	grijs kleihoudend fijn zand met schelpgruis en veel houtresten	1,40	3,00
4	boomstam	3,00	3,50
5	bruine sterk veenhoudende plastische klei	3,50	4,50

BORING NR. HSB39

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 3,0-4,0 mx = 39776
y = 188265
z = 3,824

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	grijs fijn zand met stenen	0,00	0,40
2	bruine stijve klei met stenen	0,40	0,50
3	groengrijze stijve klei	0,50	1,50
4	grijze zandhoudende en weinig veenhoudende plastische klei	1,50	2,00
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	2,00	4,80
6	grijze weinig veenhoudende plastische klei	4,80	6,00
7	bruin kleihoudend veen met dunne laagjes van blauwgrijze veenhoudende plastische klei	6,00	6,80
8	blauwgrijze veenhoudende plastische klei	6,80	7,00
9	bruine sterk veenhoudende klei	7,00	7,80
10	blauwgrijze sterk veenhoudende plastische klei	7,80	9,00
11	bruine sterk veenhoudende plastische klei	9,00	9,50
12	blauwgrijze plastische klei met zandlaagjes	9,50	10,50
13	blauwgrijze veenhoudende plastische klei met planteresten	10,50	11,50
14	grijs kleihoudend fijn zand	11,50	14,50
15	blauwgrijze plastische klei	14,50	15,00
16	afwisseling van grijs fijn zand en blauwgrijze plastische klei	15,00	16,00
17	blauwgrijze veenhoudende plastische klei	16,00	18,50

BORING NR. HSB40

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 38849
y = 188187
z = 3,952

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	grijs fijn zand met stenen	0,00	0,10
2	bruine stijve klei met stenen	0,10	0,30
3	groengrijze stijve klei	0,30	0,50
4	bruingrijze stijve klei	0,50	1,00
5	roestbruin fijn zand met weinig schelpgruis	1,00	1,50
6	grijsbruin fijn zand met schelpgruis, houtrestjes en kleibrokjes	1,50	4,00
7	grijs fijn zand met meer schelpgruis, volledige schelpen houtrestjes en schaarse kleibrokjes	4,00	8,00
8	houtniveau	8,00	8,05
9	grijs fijn zand met houtrestjes en schelpgruis. Groffer en meer schelpgruis naar de basis toe.	8,05	11,80
10	grijze weinig veenhoudende plastische klei	11,80	12,50
11	blauwgrijze plastische klei met zeer veel kalkbrokjes	12,50	14,00
12	afwisseling van grijs fijn zand en blauwe plastische klei	14,00	15,50
13	blauwe zeer stijve klei (Yc)	15,50	16,00.

BORING NR. HSB41

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 39964
y = 188032
z = 4,192

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruin kleihoudend fijn zand met stenen	0,00	0,20
2	bruine zandhoudende stijve klei	0,20	0,50
3	bruingrijze stijve klei	0,50	1,50
4	grijze zandhoudende plastische klei	1,50	2,00
5	bruingrijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtresten	2,00	2,50
6	idem, doch grijsbruin van kleur	2,50	5,00
7	grijs fijn zand met schelpgruis en houtrestjes	5,00	10,00
8	grijs middelmatig zand met meer schelpgruis	10,00	11,10

9	grijze weinig veenhoudende plastische klei	11,10	11,50
10	blauwgrijze plastische klei met kalklaagjes op 13,0 ; 14,0 ; 14,2 en 15,0 m diepte	11,50	15,90
11	grint van zwarte silex	15,90	15,95
12	blauwe stijve klei (Yc)	15,95	17,00

BORING NR. HSB42

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0-6,0 m

x = 40038
y = 187928
z = 4,306

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruin kleihoudend fijn zand met stenen	0,00	0,20
2	bruine zandhoudende en veenhoudende stijve klei	0,20	0,50
3	bruingrijze stijve klei	0,50	1,50
4	roestbruin fijn zand met weinig schelpgruis	1,50	2,00
5	grijsbruin fijn zand met houtrestjes, schelpfragmenten en kleibrokjes	2,00	3,50
6	grijs fijn zand met houtrestjes, weinig schelpgruis en brokjes van zwarte veenhoudende plastische klei	3,50	8,00
7	grijs middelmatig zand met houtrestjes, schelpgruis, brokjes van zwarte en blauwe klei	8,00	11,00
8	grijze zandhoudende en weinig veenhoudende plastische klei	11,00	12,00
9	grijsgroen middelmatig zand met weinig schelpgruis	12,00	14,00
10	groengrijs kleihoudend en glauconiethoudend fijn zand met weinig schelpgruis	14,00	16,00
11	grijsgroen grof zand met grote melkkwartskorrels en brokjes van blauwe klei	16,00	16,90
11	blauwe zeer stijve klei (Yc)	16,90	17,00

BORING NR. HSB43

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : F = 5,0 -6,0 m

x = 40005
y = 187696
z = 3,868

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruin kleihoudend fijn zand	0,00	0,20
2	bruine zandhoudende stijve klei	0,20	0,60

3	bruinigrijze stijve klei	0,60	1,40
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, talrijke houtrestjes en kleibrokjes	1,40	6,00
5	grijs fijn zand met weinig schelpgruis, houtrestjes en dunne kleilaagjes	6,00	8,00
6	grijsgroen kleihoudend en glauconiethoudend zeer fijn zand met dunne kleilaagjes en weinig schelpgruis	8,00	12,00
7	grijsgroen kleihoudend zeer fijn zand met talrijke kleilaagjes en weinig schelpgruis	12,00	13,80
8	blauwgrijze plastische klei	13,80	14,40
9	blauwe zeer stijve klei (Yc)	14,40	14,50

BORING NR. HSB44

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 40030
y = 187440
z = 2,410

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende en zandhoudende stijve klei	0,00	0,20
2	donkerbruine sterk veenhoudende klei	0,20	0,60
3	bruin veen	0,60	3,00
4	blauwgrijze veenhoudende plastische klei	3,00	3,40
5	grijze weinig veenhoudende plastische klei	3,40	3,90
6	grijsgroen sterk kleihoudend zeer fijn zand met houtrestjes	3,90	6,50
7	groengrijs glauconiethoudend en kleihoudend zeer fijn zand met schelpgruis	6,50	12,60
8	blauwgrijze plastische klei	12,60	13,00
9	grijs fijn zand	13,00	13,40
10	blauwgrijze plastische klei	13,40	14,20
11	blauwe zeer stijve klei (Yc)	14,20	14,50

BORING NR. HSB45

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 27715
y = 181060
z = 4,734

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende en zandhoudende stijve klei	0,00	0,30

2	beige stijve klei met roestvlekken	0,30	2,00
3	bruinigrijze sterk veenhoudende klei	2,00	2,40
4	grijze sterk veenhoudende plastische klei met planteresten	2,40	4,90
5	bruine sterk veenhoudende plastische klei met weinig schelpfragmenten	4,90	5,90
6	grijze sterk veenhoudende plastische klei met planteresten	5,90	6,80
7	grijze veenhoudende klei met veel hout en weinig schelpgruis	6,80	8,00
8	grijs sterk kleihoudend zeer fijn zand met schelprestjes en dunne kleilaagjes	8,00	10,50
9	blauwgrijze plastische klei	10,50	11,50
10	blauwe plastische klei met schelpgruis	11,50	12,50
11	blauwe zeer stijve klei (Yc)	12,50	14,00

BORING NR. HSB46

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 27680
y = 181100
z = 4,580

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende en zandhoudende klei	0,00	0,20
2	beige stijve klei met roestvlekken	0,20	1,50
3	bruine sterk veenhoudende klei	1,50	2,00
4	bruin veen	2,00	4,50
5	grijze zandhoudende plastische klei	4,50	5,40
6	grijsbruine veenhoudende plastische klei met veel houtresten	5,40	6,00
7	blauwgrijze weinig zandhoudende plastische klei	6,00	7,00
8	blauwgrijze zandhoudende plastische klei	7,00	7,50
9	groengrijze klei met laagjes van groengrijs fijn zand	7,50	8,20
10	blauwe zeer stijve klei (Yc)	8,20	8,50

BORING NR. HSB47

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 27645
y = 181150
z = 4,804

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine veenhoudende en zandhoudende klei	0,00	0,10

2	roestbruine stijve klei	0,10	0,30
3	roestbruin fijn zand	0,30	1,20
4	roestbruine zandhoudende plastische klei	1,20	1,90
5	blauwe plastische klei	1,90	2,20
6	blauwe zeer stijve klei (Yc)	2,20	2,50

BORING NR. HSB48

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 36030
y = 195100
z = 3,639

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine veenhoudende en zandhoudende stijve klei	0,00	0,20
2	grijze stijve klei met stenen en schelpgruis	0,20	1,00
3	lichtgrijze plastische klei met schelpgruis	1,00	1,40
4	grijze weinig zandhoudende en veenhoudende plastische klei	1,40	1,60
5	zwartbruin veen, roodbruin naar de basis toe	1,60	3,50
6	blauwgrijze plastische klei met veel zandlaagjes, vooral aan de basis	3,50	5,00
7	grijs fijn zand met tamelijk veel schelpgruis	5,00	9,00
8	grijs fijn zand met veel schelpgruis en talrijke houtrestjes	9,00	12,50
9	grijs fijn zand met veel kleilaagjes	12,50	14,00
10	grijsgroen fijn tot middelmatig zand met weinig schelpgruis en kleibrokjes	14,00	15,00
11	groen zeer fijn zand met weinig schelpgruis en kleibrokjes	15,00	16,30
12	blauwe zeer stijve klei (Yc)	16,30	16,50

BORING NR. HSB49

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : gespoeld
Filterdiepte : geen

x = 35975
y = 194870
z = - - -

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	grijze stijve klei	0,00	1,40
2	roodbruin veen	1,40	3,90
3	grijsblauwe zandhoudende plastische klei	3,90	5,40
4	roodbruin veen	5,40	6,10

5	grijze zandhoudende plastische klei met zandhoudende zones	6,10	13,00
6	grijsgroene tot grijsblauwe plastische klei	13,00	15,00

BORING NR. DB1

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor
Filterdiepte : geen

x = 27910
y = 181215
z = - - -

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruینگrijze stijve klei met talrijke roestvlekken en schaarse houtrestjes	0,00	0,35
2	lichtbruینگrijze stijve klei met roestvlekjes	0,35	0,75
3	lichtgrijze stijve klei met roestvlekken en houtrestjes	0,75	1,00
4	bruینگrijze veenhoudende plastische klei met houtresten	1,00	1,20
5	donkerbruine sterk veenhoudende plastische klei met talrijke houtresten	1,20	1,35
6	donkerbruin sterk kleihoudend veen	1,35	1,80
7	grijsbruine weinig zandhoudende en sterk veenhoudende klei met grote houtresten	1,80	2,10
8	grijsbruine zandhoudende en sterk veenhoudende plastische klei met houtresten	2,10	2,30
9	donkerbruine sterk veenhoudende klei met talrijke houtresten	2,30	2,50
10	grijs fijn zand	2,50	2,55
11	donkerbruin kleihoudend veen met lenzen van grijs zand	2,55	2,75
12	donkerbruin sterk kleihoudend veen met lenzen van blauwgrijs fijn zand	2,75	3,00
13	lichtbruine veenhoudende zeer plastische klei	3,00	3,10
14	blauwgrijze sterk zandhoudende plastische klei met houtrester	3,10	3,70
15	donkerbruin veen	3,70	3,75
16	blauwgrijze zandhoudende plastische klei met houtresten en kalkstipjes	3,75	4,10
17	blauwgrijze plastische klei met houtresten en kalkstipjes	4,10	4,50

BORING NR. DB2

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor
Filterdiepte : geen

x = 27875
y = 181270
z = - - -

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruینگrijze zandhoudende stijve klei met roestvlekken	0,00	0,10
2	bruینگrijze zandhoudende stijve klei met roestvlekjes en schaarse houtrestjes	0,10	0,50

3	bruinigrijze weinig zandhoudende stijve klei met roestniveaus en houtrestjes	0,50	0,65
4	lichtgrijze stijve klei met roestniveaus en houtrestjes	0,65	1,10
5	grijsbruin sterk kleihoudend fijn zand met talrijke houtresjes en roestniveaus	1,10	1,30
6	lichtgrijze stijve klei met houtresten	1,30	1,65
7	idem, doch met meer houtresten	1,65	1,80
8	bruinigrijze stijve klei met talrijke houtresten	1,80	2,00
9	donkerbruin sterk kleihoudend veen	2,00	2,30
10	donkerbruin sterk kleihoudend veen met schelpjes	2,30	2,75
11	donkerbruin kleihoudend veen met veel schelpen	2,75	3,25
12	bruinigrijze klei met enkele schelpjes en veel houtresten	3,25	3,50
13	bruine weinig zandhoudende plastische klei met houtresten	3,50	3,75
14	donkerbruine sterk veenhoudende klei met zeer veel houtresten (= houtniveaus)	3,75	4,15
15	blauwgrijze zandhoudende klei	4,15	4,50
16	blauwgroene zandhoudende plastische klei met meer zandhoudende lagen	4,50	6,00
17	lichtbruin veen met schelpen	6,00	6,05
18	blauwgrijze zandhoudende plastische klei	6,05	6,25
19	grijs middelmatig tot grof glauconiethoudend zand	6,25	6,35
20	blauwgrijze plastische klei met lenzen van grijs fijn zand	6,35	6,50
21	blauwgrijze stijve klei (Yc)	6,50	7,00

BORING NR. DB3

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor
Filterdiepte : geen

x = 27810
y = 181390
z = — — —

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende stijve klei met roestvlekken	0,00	0,60
2	bruinigrijze zandhoudende stijve klei met roestniveaus	0,60	0,80
3	lichtgrijze stijve klei met roestniveaus	0,80	1,00
4	lichtgrijze stijve klei met roestniveaus en weinig houtresten	1,00	1,50
5	bruine sterk veenhoudende plastische klei met veel houtresten	1,50	2,00

6	bruin sterk kleihoudend veen	2,00	2,50
7	grijze sterk zandhoudende plastische klei met houtresten	2,50	2,75
8	grijsblauwe zandhoudende plastische klei met houtrestjes	2,75	4,50
9	blauwgrijze sterk zandhoudende plastische klei met houtrestjes en laagjes van kleihoudend, glauconiethoudend middelmatig zand	4,50	5,25
10	blauwgrijze halfstijve klei met kalkstipjes en meer zandhoudende lagen	5,25	6,00

BORING NR. DB4

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor en puls
Filterdiepte : geen

x = 31165
y = 183325
z = 4,138

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine zandhoudende stijve klei met roestvlekken	0,00	0,15
2	bruینگrijze stijve klei met roestniveaus	0,15	0,50
3	grijsgeel weinig kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis en talrijke roestniveaus	0,50	0,75
4	idem, doch weinig veenhoudend	0,75	1,30
5	donkerbruin sterk veenhoudend fijn zand met veel houtrestjes	1,30	1,50
6	grijs kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis, schaarse houtrestjes en brokjes van grijze klei	1,50	2,00
7	grijs weinig kleihoudend zeer fijn zand met weinig schelpgruis en schaarse houtrestjes	2,00	3,00
8	idem, met meer schelpgruis	3,00	3,25
9	idem, met zeer veel houtresten	3,25	3,80
10	donkergrijs fijn zand met schelpgruis, veel houtfragmenten en brokken van blauwgrijze veenhoudende klei	3,80	4,30
11	veenlaagje met schelpen	4,30	4,35
12	donkergrijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtreste	4,35	5,80
13	veenlaagje, nagenoeg volledig bestaande uit hout	5,80	5,85
14	dokergrijs fijn zand met schelpgruis en veel houtresten	5,85	6,20
15	bruine sterk veenhoudende plastische klei	6,20	6,25
16	donkergrijs fijn zand met schelpgruis en veel houtfragmenten	6,25	7,50
17	lichtgrijs zeer fijn zand met weinig schelpgruis en weinig houtresten	7,50	7,80

18	idem, met grote brokken van blauwe plastische klei	7,80	8,00
19	lichtbruin sterk kleihoudend veen	8,00	8,30
20	grijsbruine sterk veenhoudende plastische klei met houtresten	8,30	8,70
21	roodbruin veen	8,70	9,80
22	roodbruin kleihoudend veen met schelpjes	9,80	10,20
23	bruingrijze sterk veenhoudende klei met kalkstipjes	10,20	10,50
24	blauwe zandhoudende plastische klei met kalkkonkreties	10,50	11,00

BORING NR. DB5

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor
Filterdiepte : geen

x = 31175
y = 183180
z = - - -

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine zandhoudende stijve klei met roestvlekken	0,00	0,15
2	bruingrijze stijve klei met roestvlekjes en weinig houtrestjes	0,15	0,30
3	grijze stijve klei met roestniveaus	0,30	0,80
4	bruingrijze veenhoudende plastische klei met houtresten	0,80	1,00
5	donkerbruin sterk kleihoudend veen	1,00	1,75
6	roodbruin veen	1,75	2,50
7	donkerbruine sterk veenhoudende klei met zeer veel hout	2,50	2,70
8	donkerbruin veen	2,70	3,50
9	donkerbruin kleihoudend veen	3,50	4,50
10	bruingrijs sterk kleihoudend veen	4,50	5,25
11	blauwgrijze zandhoudende klei met schaarse houtrestjes	5,25	5,70
12	blauwgrijze zeer sterk zandhoudende plastische klei met hout	5,70	6,25
13	blauwzwarte sterk veenhoudende plastische klei met veel houtresten en schaarse schelpjes	6,25	7,00
14	bruine sterk veenhoudende plastische klei met veel houtresten en schaarse schelpjes	7,00	7,30
15	donkerbruin veen	7,30	7,60
16	donkerbruin veen met veel schelpen	7,60	7,80
17	bruingroen veen met weinig schelpen	7,80	8,30
18	bruin veen	8,30	9,20

19 blauwe klei met houtresten en kalkkonkreties

9,20

10,00

BORING NR. DB6

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor

x = 33050

Filterdiepte : geen

y = 183380

z = 3,727

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine weinig zandhoudende en veenhoudende stijve klei met roestvlekken	0,00	0,30
2	bruinigrijze weinig zandhoudende en veenhoudende stijve klei met roestvlekjes en schaarse houtrestjes	0,30	0,60
3	grijze stijve klei met roestniveaus	0,60	0,80
4	donkerbruin sterk kleihoudend veen	0,80	1,00
5	donkerbruin veen met houtniveaus	1,00	1,80
6	blauwgrijze zandhoudende plastische klei met veel hout	1,80	2,00
7	grijze zandhoudende plastische klei met houtresten	2,00	2,30
8	blauwe halfstijve klei met houtresten en kalkkonkreties	2,30	3,50

BORING NR. DB7

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor

x = 33050

Filterdiepte : geen

y = 183275

z = 4,725

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	roestbruine weinig zandhoudende klei	0,00	0,40
2	lichtbruine sterk zandhoudende klei met roestniveaus	0,40	1,00
3	lichtbruin sterk kleihoudend middelmatig zand	1,00	1,30
4	lichtgrijze sterk zandhoudende plastische klei	1,30	1,50
5	grijs sterk kleihoudend middelmatig zand	1,50	1,80
6	grijsbruine sterk zandhoudende plastische klei met weinig schelpgruis en talrijke houtresten	1,80	2,10
7	grijsbruin sterk kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis en talrijke houtresten	2,10	2,30
8	grijze zeer stijve klei met roestniveaus ; de klei wordt blauwer met toenemende diepte	2,30	3,50

BORING NR. **DE3**

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor en puls
Filterdiepte : geenx = 33050
y = 183550
z = 4,621

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruin kleihoudend en weinig veenhoudend fijn zand	0,00	0,20
2	bruinigrijze zandhoudend klei met roestvlekken	0,20	0,80
3	lichtbruin weinig kleihoudend fijn zand	0,80	1,15
4	lichtbruine sterk zandhoudend plastische klei met kalkstipjes en roestniveaus	1,15	1,60
5	lichtgrijs fijn zand met weinig schelpgruis en houtrestjes	1,60	2,00
6	grijsbruin sterk veenhoudend fijn zand met houtrestjes en schelpgruis	2,00	2,15
7	lichtgrijs fijn zand met schelpgruis en houtrestjes	2,15	2,75
8	idem, met meer houtrestjes	2,75	3,30
9	veen	3,30	3,40
10	grijs fijn zand met weinig schelpgruis en veel houtrestjes	3,40	4,50
11	idem, met grovere kwartskorrels	4,50	6,00
12	idem, zeer fijn zand	6,00	8,00
13	idem, met grote brokken van grijze veenhoudende klei	8,00	8,50
14	idem, zonder kleibrokken	8,50	9,20
15	bruine sterk veenhoudende plastische klei	9,20	9,50
16	grijs sterk kleihoudend en veenhoudend fijn zand met talrijke houtrestjes	9,50	10,00
17	grijze sterk zandhoudende plastische klei met houtrestjes en schaarse schelpfragmentjes	10,00	10,50
18	idem, met meer en grote schelpfragmenten	10,50	11,30
19	grijze zandhoudende en veenhoudende halfstijve klei met kalkkonkreties	11,30	11,80
20	bruin veen met talrijke schelpjes	11,80	12,20
21	bruinigrijze sterk veenhoudende plastische klei met schelpen	12,20	12,50
22	grijze zandhoudende en veenhoudende slappe klei met schelpen	12,50	13,20
23	grijze zandhoudende halfstijve klei	13,20	14,00
24	grijze weinig zandhoudende halfstijve klei	14,00	15,00

BORING NR. DB9

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor
Filterdiepte : geen

x = 38325
y = 186100
z = 3,664

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruin kleihoudend zand met steentjes	0,00	0,50
2	donkerbruine sterk zandhoudende klei met steentjes	0,50	0,70
3	donkerbruine zandhoudende klei	0,70	0,90
4	grijsbruin kleihoudend fijn zand	0,90	1,20
5	grijsbruine zandhoudende plastische klei met schaarse schelpfragmenten	1,20	1,60
6	donkergrijze plastische klei	1,60	1,80
7	grijs veenhoudend en weinig kleihoudend fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	1,80	2,20
8	grijs weinig kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis en talrijke houtresten	2,20	2,70
9	donkergrijze weinig zandhoudende plastische klei met houtresten en veenhoudende lagen	2,70	3,70
10	groengrijze sterk zandhoudende plastische klei met zeer weinig schelpgruis	3,70	4,20
11	groengrijs sterk kleihoudend fijn zand	4,20	4,70
12	blauwe stijve klei met grote kalkkonkreties	4,70	5,50

BORING NR. DB10

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor
Filterdiepte : geen

x = 39400
y = 184740
z = - - -

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruin sterk kleihoudend en veenhoudend zand met roestvlekken	0,00	0,30
2	grijze zandhoudende stijve klei met roestniveaus	0,30	1,00
3	zwartbruin veen met lenzen van grijs fijn zand	1,00	1,60
4	bruin sterk veenhoudend fijn zand	1,60	1,80
5	grijs kleihoudend fijn zand	1,80	2,00
6	groengrijs kleihoudend fijn zand met zeer weinig schelpgruis	2,00	2,50
7	groengrijs kleihoudend zeer fijn zand met weinig schelpgruis	2,50	3,00

8	grijze plastische klei	3,00	3,20
9	grijsgroene zandhoudende plastische klei met zeer weinig schelpgruis	3,20	4,50
10	grijsgroen sterk kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis	4,50	5,00
11	grijsgroene zandhoudende plastische klei	5,00	5,50
12	grijsgroene weinig zandhoudende plastische klei	5,50	6,30
13	grijsgroene weinig zandhoudende plastische klei met zeer weinig schelpgruis	6,30	7,00
14	groengrijze plastische klei met veenbrokjes en zeer weinig schelpgruis	7,00	7,70
15	groengrijze zandhoudende plastische klei met lenzen van groen middelmatig zand en zeer weinig schelpgruis	7,70	8,30
16	groengrijze weinig zandhoudende plastische klei	8,30	9,00
17	lichtgrijze plastische klei met niveaus van donkergrijze klei	9,00	10,50
18	idem, met kalkbrokjes en lenzen van groen middelmatig zand	10,50	11,60
19	lichtgrijze plastische klei met lenzen van groen middelmatig zand en kalkbrokjes	11,60	12,00
20	groen middelmatig zand met weinig schelpgruis	12,00	12,90
21	grijze stijve klei met kalkkonkreties	12,90	13,10
22	afwisseling van grijze stijve klei met groen middelmatig zand	13,10	14,00

BORING NR. DB11

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor en puls
Filterdiepte : geen

x = 40230
y = 187975
z = 3,930

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruin veenhoudend fijn zand met steentjes	0,00	0,50
2	donkergrijs sterk kleihoudend fijn zand met planteresten	0,50	0,80
3	donkergrijze sterk zandhoudende klei	0,80	1,00
4	lichtgrijze zandhoudende klei met kalkbrokjes	1,00	1,25
5	grijs weinig kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis	1,25	2,00
6	idem, met houtrestjes	2,00	3,00
7	donkergrijs weinig kleihoudend fijn zand met schaarse houtrestjes grote schelpfragmenten en brokjes van groene klei	3,00	4,20
8	donkergrijs zeer fijn zand met talrijke kleibrokjes, weinig schelpfragmenten en houtrestjes	4,20	4,60

9	grijs weinig kleihoudend fijn zand met schaarse houtrestjes en weinig schelpgruis	4,60	7,50
10	donkergrijs middelmatig zand met schaarse houtrestjes en zeer weinig schelpgruis	7,50	7,70
11	veenlaagje	7,70	7,75
12	donkergrijs middelmatig zand met schaarse houtrestjes en zeer weinig schelpgruis	7,75	8,00
13	donkergrijs fijn zand met meer houtrestjes en schelpgruis	8,00	8,50
14	donkergrijs middelmatig zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	8,50	10,00

BORING NR. DB12

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor
Filterdiepte : geen

x = 40420
y = 185125
z = 3,551

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	zwartbruine zandhoudende en veenhoudende klei met houtresten en roestvlekken	0,00	0,60
2	bruinigrijze stijve klei met roestniveaus	0,60	0,90
3	bruinigrijze veenhoudende plastische klei	0,90	1,50
4	grijze plastische klei met talrijke planteresten	1,50	2,10
5	roodbruin veen	2,10	5,60
6	grijze zandhoudende en sterk veenhoudende plastische klei met grote planteresten en schaarse schelprestjes	5,60	6,00
7	blauwgrijze zandhoudende plastische klei met zeer weinig schelpgruis	6,00	6,50
8	blauwgrijze plastische klei met enkele schelpen	6,50	7,60
9	idem, veenhoudend en met meer schelpen	7,60	7,80
10	donkerbruin kleihoudend veen	7,80	9,10
11	blauwgrijze plastische klei	9,10	9,50
12	donkerbruin veen	9,50	9,90
13	grijsgroene plastische klei	9,90	10,10
14	zwartgrijze sterk veenhoudende plastische klei met grote planteresten	10,10	11,00

BORING NR. DB13

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor en puls
Filterdiepte : geen

x = 35895
y = 195665
z = 3,579

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine sterk zandhoudende klei	0,00	0,10
2	lichtgrijze stijve klei	0,10	0,50
3	beige sterk zandhoudende stijve klei	0,50	0,75
4	grijsgroene stijve klei met zandlenzen en geelgroene vlekken	0,75	1,10
5	idem, met talrijke schelpen en houtresten	1,10	1,25
6	idem, zonder schelpen	1,25	1,60
7	grijze weinig zandhoudende plastische klei	1,60	1,90
8	idem, met zandniveaus	1,90	2,00
9	bruin veen	2,00	2,05
10	grijze plastische klei met zandlenzen	2,05	2,15
11	grijsblauw kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis	2,15	2,50
12	grijs fijn zand met enkele volledige schelpen	2,50	3,00
13	idem, met weinig schelpgruis en veel houtrestjes	3,00	3,20
14	idem	3,20	3,75
15	idem, met brokjes van donkergrijze klei	3,75	4,10
16	idem, zonder kleibrokjes	4,10	4,30
17	idem, met enkele volledige schelpen	4,30	4,60
18	grijs fijn tot middelmatig zand met schelpgruis	4,60	5,30
19	idem, met talrijke brokjes van donkergrijze plastische klei	5,30	7,50
20	grijs fijn zand met weinig schelpgruis	7,50	8,00
21	idem, met grote schelpfragmenten en talrijke houtrestjes	8,00	9,00
22	idem, met veel schelpfragmenten, volledige schelpen en enkele kleibrokjes	9,00	10,00
23	grijs fijn tot middelmatig zand met zeer veel schelpgruis	10,00	10,30
24	idem, minder schelpfragmenten en kleibrokjes	10,30	10,50
25	grijze weinig zandhoudende klei met enkele schelprestjes	10,50	11,50
26	grijze sterk veenhoudende plastische klei met planteresten en houtrestjes	11,50	12,40

27 grijsgroen sterk kleihoudend fijn zand met silexstukjes op
13,3 m diepte

12,40 13,50

BORING NR. DB14

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor en puls
Filterdiepte : geen

x = 36775
y = 196075
z = 3,603

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	donkerbruine sterk zandhoudende klei met stenen	0,00	0,80
2	bruingrijs sterk kleihoudend fijn zand	0,80	1,00
3	grijs fijn zand met weinig schelpgruis	1,00	2,25
4	grijsbruin fijn zand met schelpgruis en houtrestjes	2,25	3,00
5	grijsbruin fijn zand met veel hout, schelpen en kleibrokjes	3,00	4,00
6	idem, met talrijke volledige schelpen	4,00	4,50
7	idem, met minder schelpen	4,50	5,00
8	grijsbruin fijn tot middelmatig zand met veel schelpgruis	5,00	6,00
9	grijsbruin fijn zand met kleibrokjes en weinig schelpgruis	6,00	6,25
10	grijs fijn zand met houtrestjes en weinig schelpgruis	6,25	8,00
11	grijs fijn zand met houtrestjes, zeer weinig schelpgruis en kleibrokjes op 9,8 ; 10,5 ; 10,75 en 10,9 m diepte	8,00	11,20
12	bruin veen met schelpen	11,20	11,30
13	grijs fijn zand met houtrestjes, zeer weinig schelpgruis en kleibrokjes	11,30	11,50
14	grijze plastische klei	11,50	11,75
15	grijs fijn zand met houtrestjes en zeer weinig schelpgruis	11,75	12,00
16	grijs fijn tot middelmatig zand met houtrestjes, veel schelp-fragmenten en enkele brokjes van blauwe klei	12,00	12,60
17	grijs fijn tot middelmatig zand met tamelijk veel schelpgruis	12,60	13,50
18	grijs fijn tot middelmatig zand met veel schelpgruis en kleibrokjes	13,50	13,90

BORING NR. DB15

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor en puls
Filterdiepte : geen

x = 38065
y = 196287
z = 4,087

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine weinig zandhoudende klei	0,00	0,50
2	bruinigrijze weinig zandhoudende stijve klei met roestvlekken	0,50	0,90
3	bruingrijs kleihoudend fijn zand met weinig schelpgruis	0,90	1,25
4	grijs fijn zand met weinig schelpgruis	1,25	1,75
5	idem, met houtrestjes	1,75	2,50
6	idem	2,50	3,20
7	idem, met veel houtrestjes	3,20	4,90
8	idem, met weinig houtrestjes en grote schelpfragmenten	4,90	5,50
9	grijs fijn zand met veel houtrestjes, weinig schelpgruis en kleibrokken	5,50	6,00
10	idem	6,00	7,00
11	grijs fijn tot middelmatig zand met veel schelpfragmenten en enkele kleibrokjes	7,00	8,00
12	grijs fijn tot middelmatig zand met schelpgruis en houtrestjes	8,00	8,50
13	idem, met talrijke houtrestjes	8,50	8,70
14	bruin veen	8,70	8,75
15	grijs weinig kleihoudend fijn tot middelmatig zand met talrijke houtrestjes en kleibrokjes	8,75	9,00
16	grijs kleihoudend fijn zand met veel hout en kleibrokjes	9,00	11,00
17	grijs fijn zand met weinig hout en weinig schelpgruis	11,00	12,25
18	idem, met talrijke kleibrokken	12,25	12,40
19	idem, zonder kleibrokken	12,40	14,00
20	idem, met kleibrokken	14,00	14,40
21	idem, zonder kleibrokken	14,40	15,00

BORING NR. **DB16**

Lambertkoördinaten :

Boorwijze : droog, spiraalboor en puls
Filterdiepte : geen

x = 35380
y = 194810
z = 3,845

Nr.	Beschrijving van de grond	Diepte (m)	
		van	tot
1	bruine stijve klei met houtrestjes	0,00	0,50
2	beige stijve klei met roestvlekken	0,50	0,75
3	beige zandhoudende stijve klei met roestvlekken	0,75	1,00
4	idem, met houtrestjes en lenzen van blauwgrijs fijn zand	1,00	1,25
5	grijze zandhoudende klei met houtrestjes en zandlenzen	1,25	2,10
6	idem, met schelpen	2,10	3,25
7	grijs sterk kleihoudend fijn zand met schelpen	3,25	3,90
8	grijs fijn zand met hout, kleibrokjes en schelpfragmenten	3,90	5,00
9	grijs fijn zand met houtrestjes en schelpen	5,00	5,50
10	grijs fijn zand met talrijke houtresten en schelpgruis	5,50	6,50
11	grijs fijn tot middelmatig zand met hout en veel schelpgruis	6,50	7,25
12	idem	7,25	7,75
13	idem	7,75	8,25
14	idem, met grote schelpfragmenten en zeer veel houtresten	8,25	9,25
15	grijs fijn zand met houtrestjes en schelpgruis	9,25	11,00
16	idem, met kleilaagjes op 11,0 ; 11,7 ; 12,0 en 12,5 m diepte	11,00	12,60
17	grijze plastische klei met dunne laagjes van grijs middelmatig zand	12,60	15,50

BIJLAGE 3: Kenmerken van de peilbuizen

boring	filter	koördinaten		hoogte maaiveld (m +TAW)	hoogte meetpunt (m + TAW)	filtergedeelte				filter- lengte (m)	diameter (mm)
		x	y			diepte (m-mv)		peil (m +TAW)			
						top	basis	top	basis		
SB1	F1	39930	188065	3,930	3,824	11,00	12,00	-7,07	-8,07	1,0	40
	F2	id	id	id	3,828	5,00	6,00	-1,07	-2,07	1,0	40
SB2	F1	31195	183355	4,138	4,010	6,50	7,50	-2,36	-3,36	1,0	40
	F2	id	id	id	3,994	3,00	4,00	1,13	0,14	1,0	40
SB3	F	33065	183535	4,621	4,511	8,00	9,00	-3,38	-4,38	1,0	40
SB4	F	36380	185290	4,274	4,132	3,10	4,10	1,17	0,17	1,0	40
SB5	F1	37810	186010	3,312	3,116	13,00	14,00	-9,69	-10,69	1,0	40
	F2	id	id	id	3,216	3,00	4,00	0,31	-0,69	1,0	40
SB6	F1	39290	187150	4,468	4,336	13,50	14,50	-9,03	-10,03	1,0	40
	F2	id	id	id	4,338	5,00	6,00	-0,53	-1,53	1,0	40
SB7	F1	39205	187435	3,634	3,562	8,50	9,50	-4,87	-5,87	1,0	40
	F2	id	id	id	3,532	5,50	6,50	-1,87	-2,87	1,0	40
SB8	F1	39255	187745	4,176	4,030	17,50	18,50	-13,32	-14,32	1,0	40
	F2	id	id	id	3,914	7,50	8,50	-3,32	-4,32	1,0	40
SB9	F	39190	187850	3,870	3,752	3,50	4,50	0,37	-0,63	1,0	40
SB10	F1	39540	186810	4,246	4,072	16,50	17,50	-12,25	-13,25	1,0	40
	F2	id	id	id	4,146	3,80	4,80	0,45	-0,55	1,0	40
SB11	F	39585	186551	3,006	2,854	14,50	15,50	-11,49	-12,49	1,0	40
SB12	F1	39675	186125	4,164	4,042	15,00	16,00	-10,84	-11,84	1,0	40
	F2	id	id	id	3,970	3,80	4,80	0,36	-0,64	1,0	40
SB13	F	39840	186935	4,584	4,478	13,50	14,50	-8,92	-9,92	1,0	40
SB14	F	40385	185425	3,741	3,609	7,00	8,00	-3,26	-4,26	1,0	40
SB16	F	40605	184735	3,657	3,521	11,00	12,00	-7,34	-8,34	1,0	40
SB17	F	40605	184195	3,669	3,563	12,50	13,50	-8,83	-9,83	1,0	40
SB18	F	38665	186535	4,316	4,184	6,00	7,00	-1,69	-2,68	1,0	40
SB20	F	35355	184800	4,186	4,078	6,00	7,00	-1,81	-2,81	1,0	40
SB21	F	36360	185345	4,296	4,214	7,75	8,75	-3,45	-4,45	1,0	40
SB22	F1	34345	183745	4,703	4,585	5,50	6,50	-0,80	-1,80	1,0	40
	F2	id	id	id	4,647	2,50	3,50	2,20	1,20	1,0	40
SB23	F	29795	182765	4,382	4,274	5,00	6,00	-0,62	-1,62	1,0	40
SB24	F	29185	182225	4,429	4,345	5,80	6,80	-1,37	-2,37	1,0	40
SB26	F1	35900	196040	4,005	3,915	17,00	18,00	-13,00	-14,00	1,0	40
	F2	id	id	id	3,943	4,50	5,50	-0,50	-1,50	1,0	40
SB27	F1	35895	195665	3,579	3,337	8,50	9,50	-4,92	-5,92	1,0	40
	F2	id	id	id	3,457	3,00	4,00	0,58	-0,42	1,0	40

boring	filter	koördinaten		hoogte maaiveld (m +TAW)	hoogte meetpunt (m + TAW)	filtergedeelte				filter- lengte (m)	diameter (mm)
						diepte (m-mv)		peil (m +TAW)			
		x	y			top	basis	top	basis		
SB28	F1	36110	196360	3,851	3,781	17,50	18,50	-13,65	-14,65	1,0	40
	F2	id	id	id	3,687	4,40	5,40	-0,55	-1,55	1,0	40
SB29	F1	36005	196685	3,919	3,799	8,50	9,50	-4,58	-5,58	1,0	40
	F2	id	id	id	3,783	4,00	5,00	-0,08	-1,08	1,0	40
SB30	F1	35535	195145	4,381	4,269	12,50	13,50	-8,12	-9,12	1,0	40
	F2	id	id	id	4,317	4,00	5,00	0,38	-0,62	1,0	40
SB31	F1	35255	194135	4,305	4,209	12,00	13,00	-7,70	-8,70	1,0	40
	F2	id	id	id	4,173	4,50	5,50	-0,20	-1,20	1,0	40
SB32	F1	35150	194575	4,081	3,993	10,00	11,00	-5,92	-6,92	1,0	40
	F2	id	id	id	4,059	4,00	5,00	0,08	-0,92	1,0	40
SB33	F1	35210	193735	4,089	4,007	15,50	16,50	-11,41	-12,41	1,0	40
	F2	id	id	id	3,993	4,25	5,25	-0,16	-1,16	1,0	40
SB34	F1	35380	194810	3,603	3,541	12,80	13,80	-9,20	-10,20	1,0	40
	F2	id	id	id	3,487	5,00	6,00	-1,40	-2,40	1,0	40
SB35	F1	36105	196880	3,959	3,819	10,00	11,00	-6,04	-7,04	1,0	40
	F2	id	id	id	3,833	4,50	5,50	-0,54	-1,54	1,0	40
SB36	F	35060	193129	4,094	3,970	3,50	4,50	0,59	-0,41	1,0	40
SB37	F	34836	197362	3,398	3,234	8,50	9,50	-5,10	-6,10	1,0	40
SB38	F1	35065	196595	3,917	3,773	27,00	28,00	-23,08	-24,08	1,0	40
	F2	id	id	id	3,799	5,00	6,00	-1,08	-2,08	1,0	40
SB39	F1	35435	196220	3,831	3,643	19,00	20,00	-15,17	-16,17	1,0	40
	F2	id	id	id	3,723	4,00	5,00	-0,17	-1,17	1,0	40
SB40	F1	36775	196075	4,087	3,913	17,00	18,00	-12,91	-13,91	1,0	40
	F2	id	id	id	3,971	5,00	6,00	-0,91	-1,91	1,0	40
SB41	F1	38065	196287	3,845	3,701	11,50	12,50	-7,66	-8,66	1,0	40
	F2	id	id	id	3,781	5,00	6,00	-1,16	-2,16	1,0	40
SB42	F1	37424	196487	3,939	3,819	23,50	24,50	-19,56	-20,56	1,0	40
	F2	id	id	id	4,059	5,00	6,00	-1,06	-2,06	1,0	40
SB43	F1	38606	196326	3,821	3,640	11,35	12,35	-7,53	-8,53	1,0	40
	F2	id	id	id	3,639	4,50	5,50	-0,68	-1,68	1,0	40
SB44	F	39096	196825	2,853	2,699	7,00	8,00	-4,15	-5,15	1,0	40
SB45	F	36895	192420	3,132	3,062	7,00	8,00	-3,87	-4,87	1,0	40
SB46	F	37270	190925	3,550	3,650	4,00	5,00	-0,45	-1,45	1,0	40
SB47	F	39785	190115	4,048	3,836	6,00	7,00	-1,95	-2,95	1,0	40

boring	filter	koördinaten		hoogte maaiveld (m +TAW)	hoogte meetpunt (m + TAW)	filtergedeelte				filter- lengte (m)	diameter (mm)
						diepte (m-mv)		peil (m +TAW)			
		x	y			top	basis	top	basis		
SB48	F	35925	197195	2,874	2,790	14,50	15,50	-11,63	-12,63	1,0	40
SB49	F1	36065	195470	3,921	3,761	18,00	19,00	-14,08	-15,08	1,0	40
	F2	id	id	id	3,693	5,00	6,00	-1,08	-2,08	1,0	40
HSB1	F	34913	195498	3,422	3,316	4,50	5,50	-1,08	-2,08	1,0	40
HSB2	F	34561	196605	3,802	3,732	4,50	5,50	-0,70	-1,70	1,0	40
HSB3	F	37145	196801	4,127	3,931	4,90	5,90	-0,77	-1,77	1,0	40
HSB4	F	37474	195503	4,041	3,995	5,00	6,00	-0,96	-1,96	1,0	40
HSB5	F	35541	194425	3,525	3,365	4,00	5,00	-0,48	-1,48	1,0	40
HSB6	F	38064	197901	3,616	3,526	5,00	6,00	-1,38	-2,38	1,0	40
HSB7	F	38901	187850	2,684	2,628	4,50	5,50	-1,82	-2,82	1,0	40
HSB13	F	33003	183577	4,385	4,269	5,00	6,00	-0,62	-1,62	1,0	40
HSB23	F	38676	195864	3,497	3,185	5,00	6,00	-1,50	-2,50	1,0	40
HSB26	F	38591	197171	3,335	3,309	6,00	7,00	-2,67	-3,67	1,0	40
HSB29	F	34202	196920	3,874	3,688	5,00	6,00	-1,13	-2,13	1,0	40
HSB30	F	38096	195189	3,973	3,779	5,00	6,00	-1,03	-2,03	1,0	40
HSB32	F	34534	193546	3,997	3,809	5,00	6,00	-1,00	-2,00	1,0	40
HSB33	F1	36052	195300	3,773	3,587	5,00	6,00	-1,23	-2,23	1,0	40
	F2	id	id	id	3,661	2,50	3,50	1,27	0,27	1,0	40
HSB39	F	39776	188265	3,824	3,708	3,00	4,00	0,82	-0,18	1,0	40
HSB40	F	38849	188187	3,952	3,798	5,00	6,00	-1,05	-2,05	1,0	40
HSB41	F	39964	188032	4,192	4,056	5,00	6,00	-0,81	-1,81	1,0	40
HSB42	F	40038	187928	4,306	4,148	5,00	6,00	-0,69	-1,69	1,0	40
HSB43	F	40005	187696	3,868	3,758	5,00	6,00	-1,13	-2,13	1,0	40

PROOSTDIJKVAART	34323	197417	-	3,908	-	-	-	-	-	-
KROMME GRACHT	35371	196423	-	5,497	-	-	-	-	-	-
ZOUTENAAIELEED	37493	195471	-	4,245	-	-	-	-	-	-
OUDE A-VAART	38065	195971	-	5,497	-	-	-	-	-	-
IJZER TE STAVELE	30735	182815	-	7,534	-	-	-	-	-	-

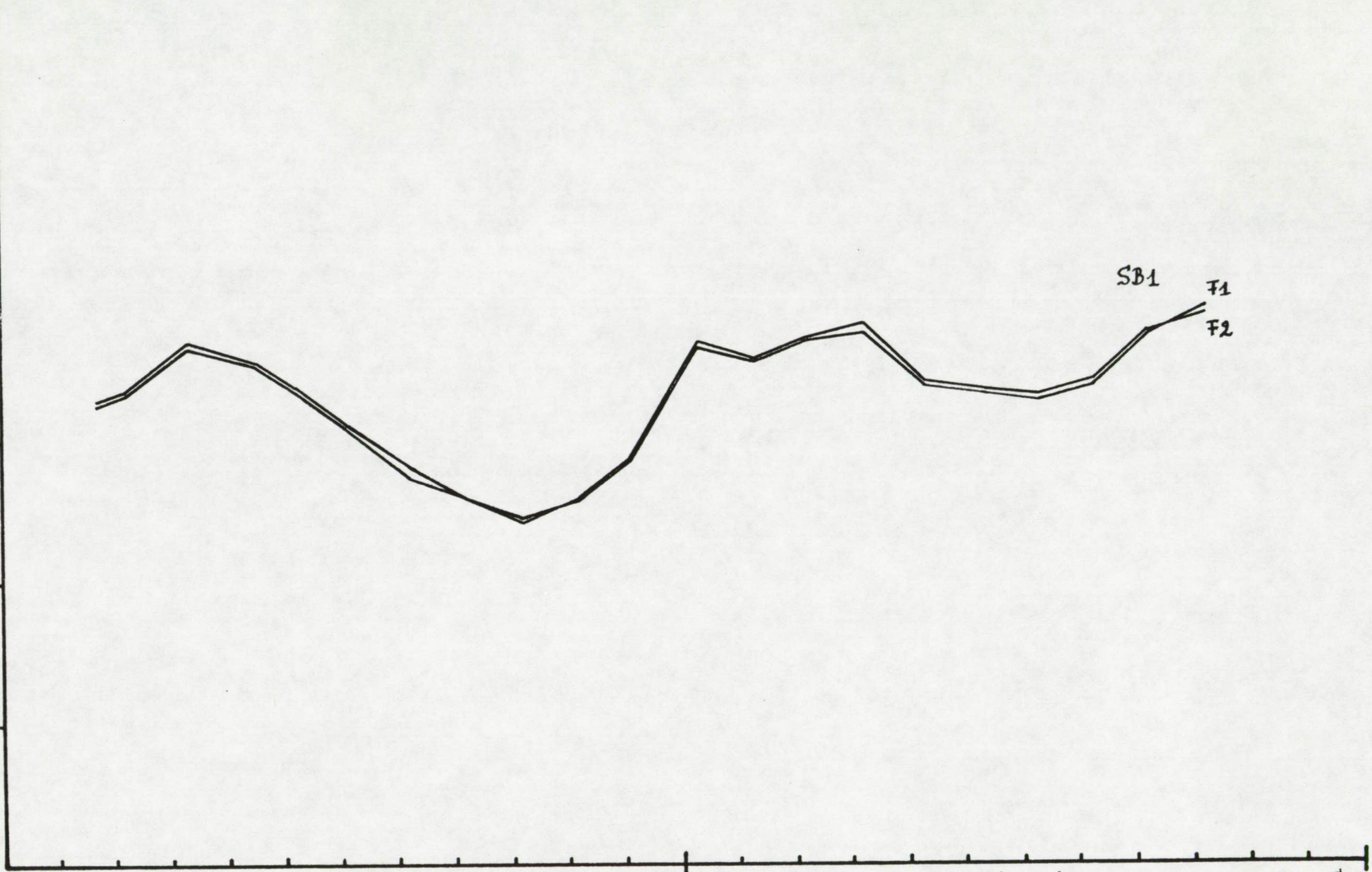
BIJLAGE 4: Tijd- stijghoogtelijnen

peil (m TAW)

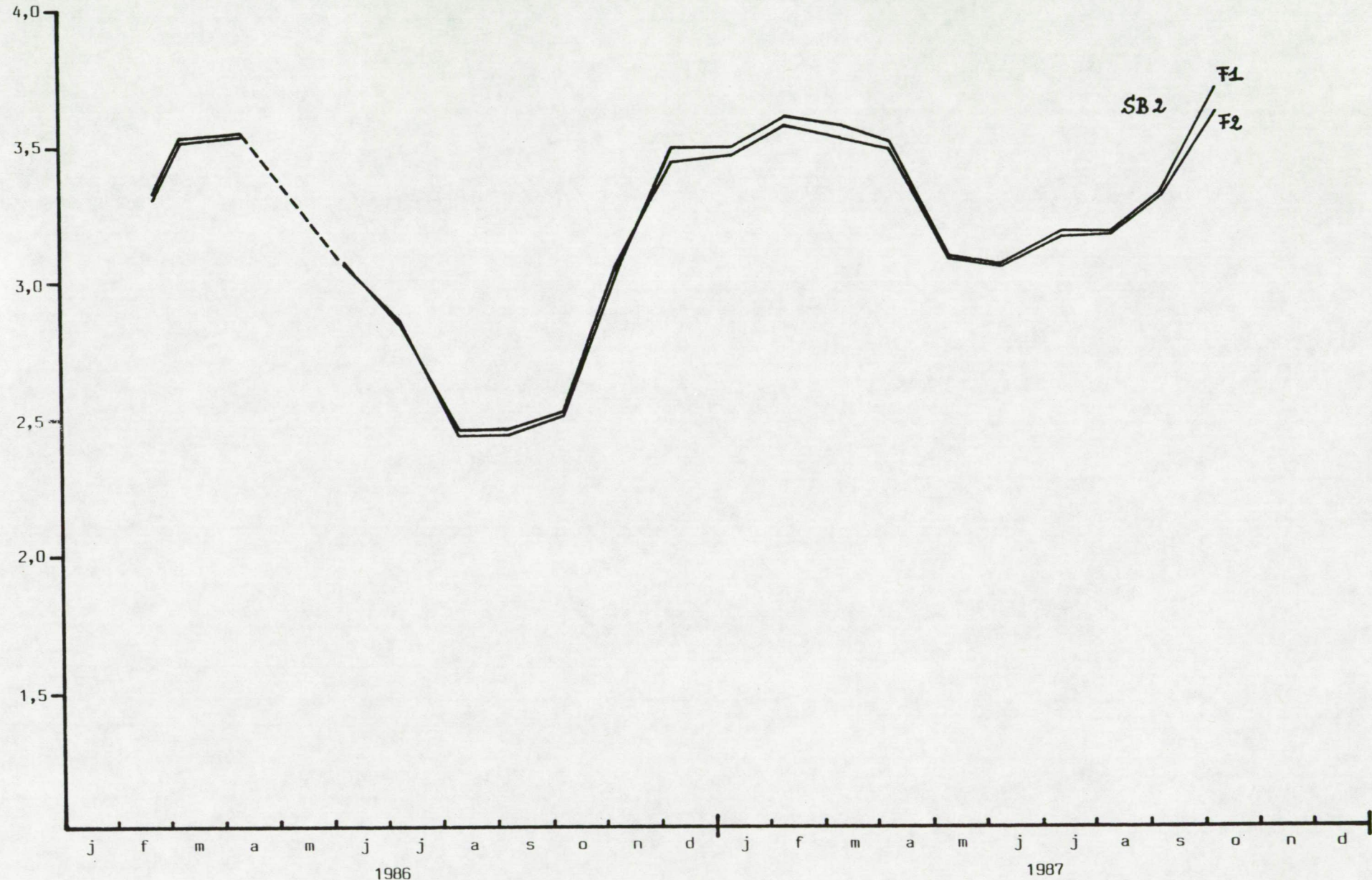
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

SB1
F1
F2

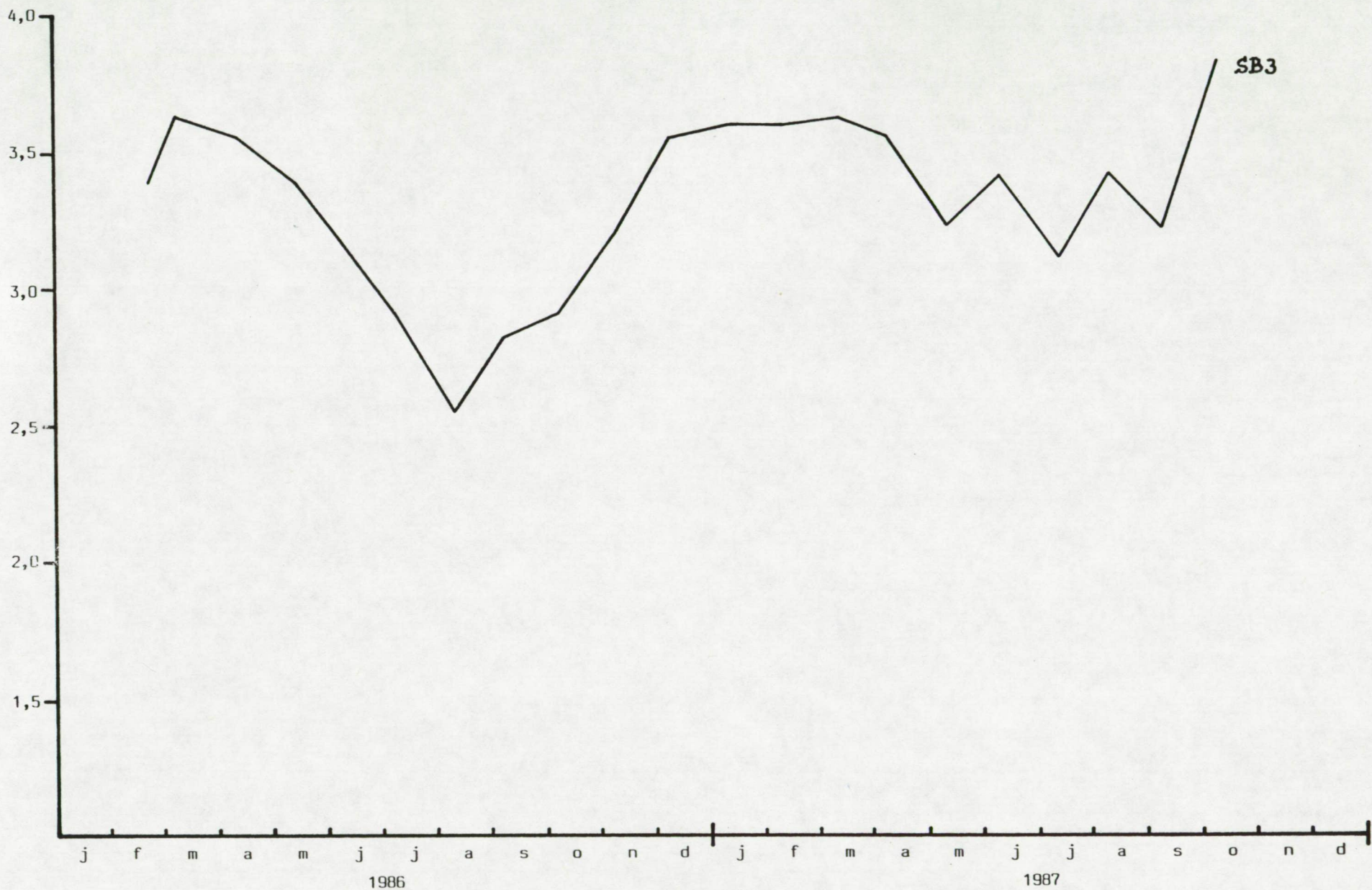
j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d
1986 1987

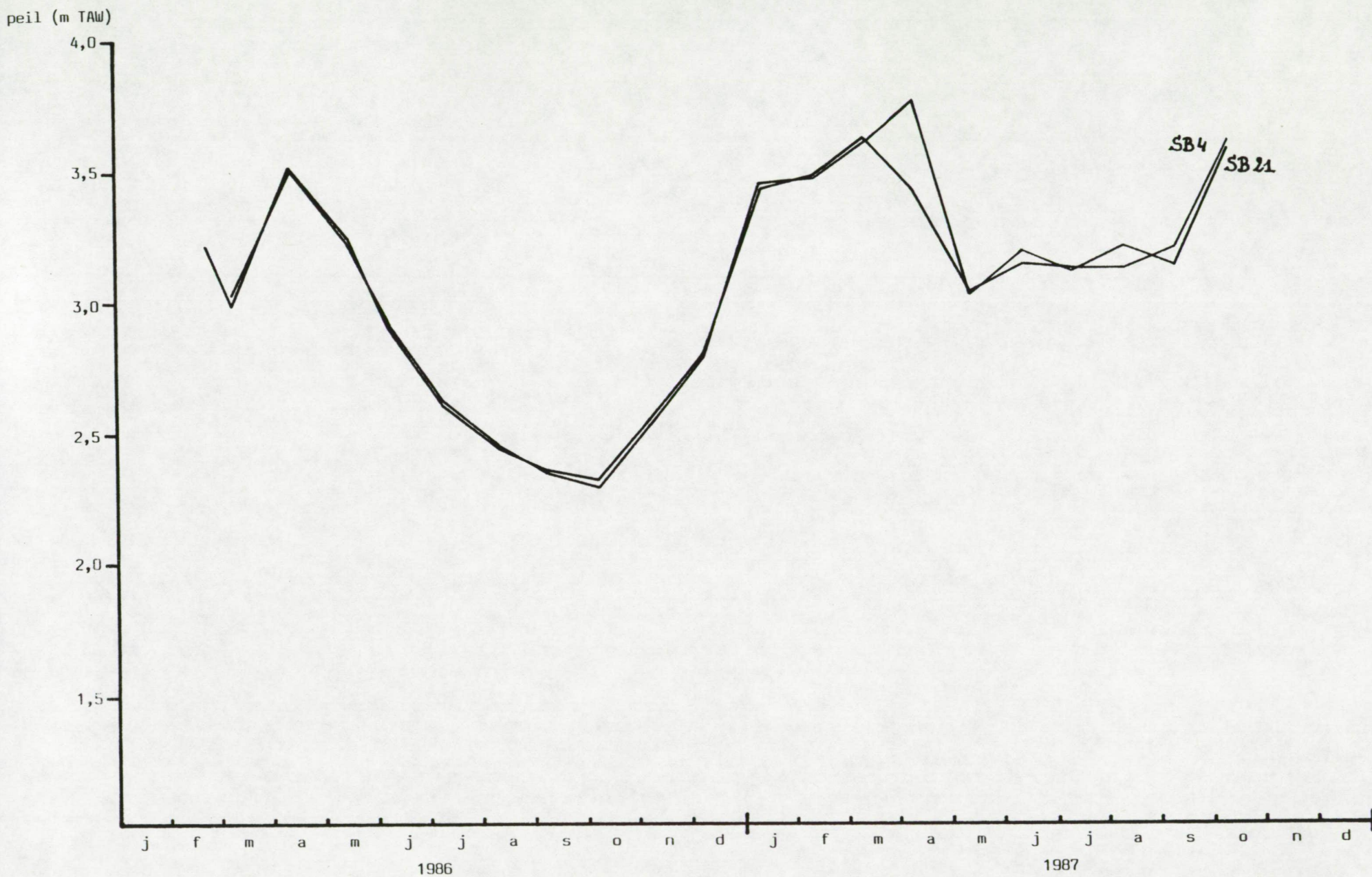


peil (m TAW)

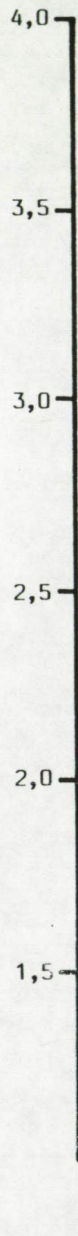


peil (m TAW)



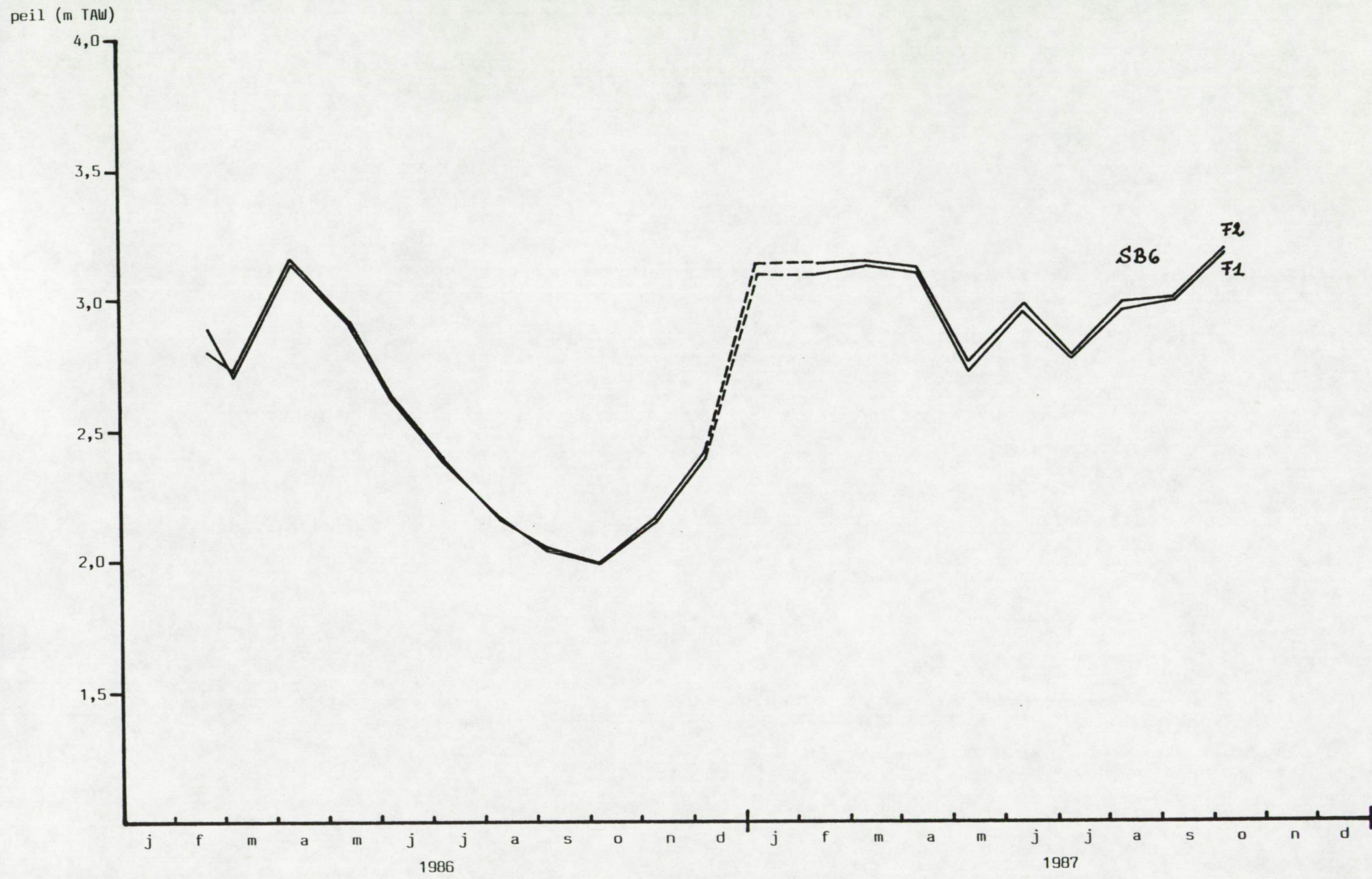


peil (m TAW)

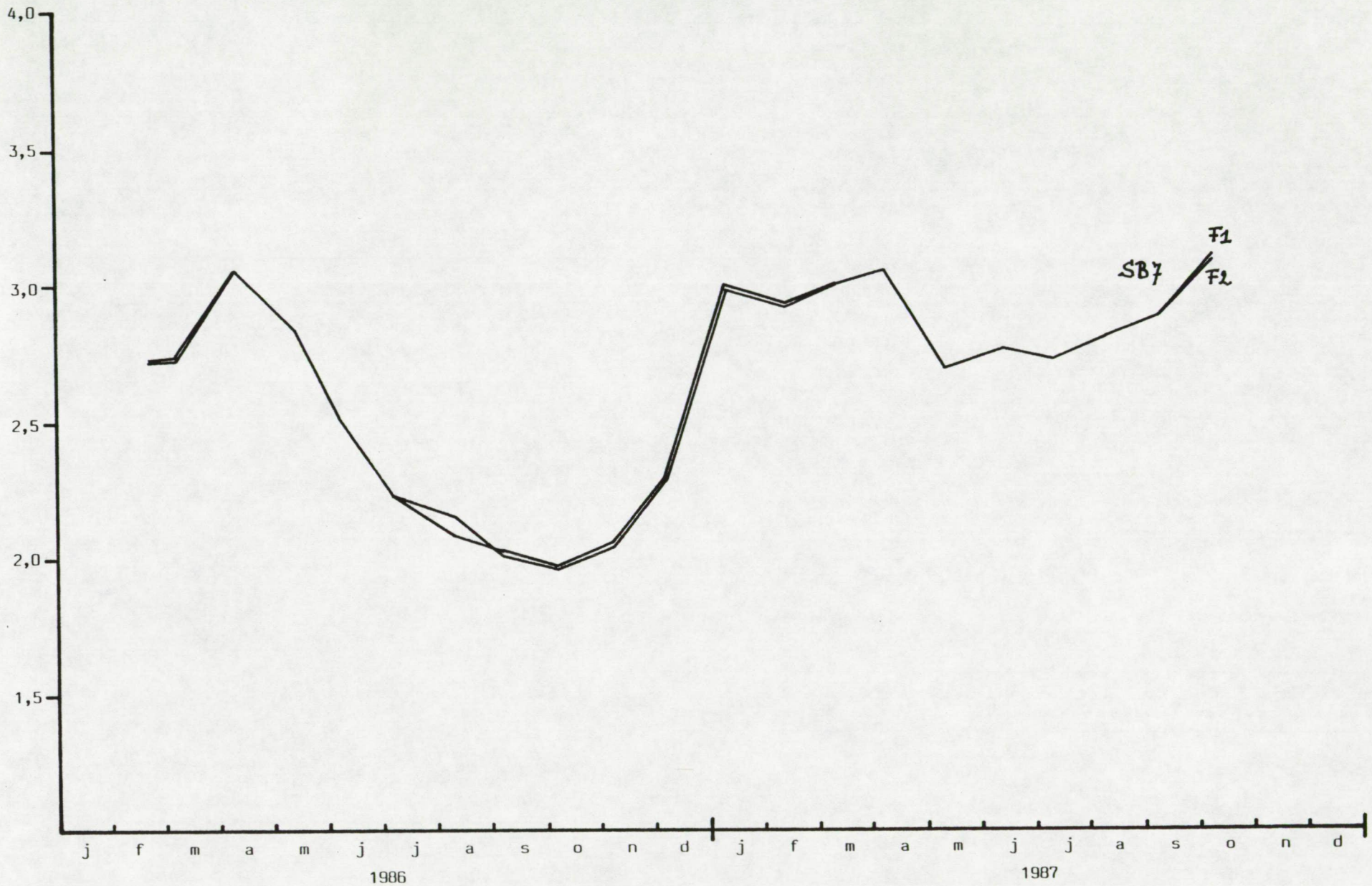


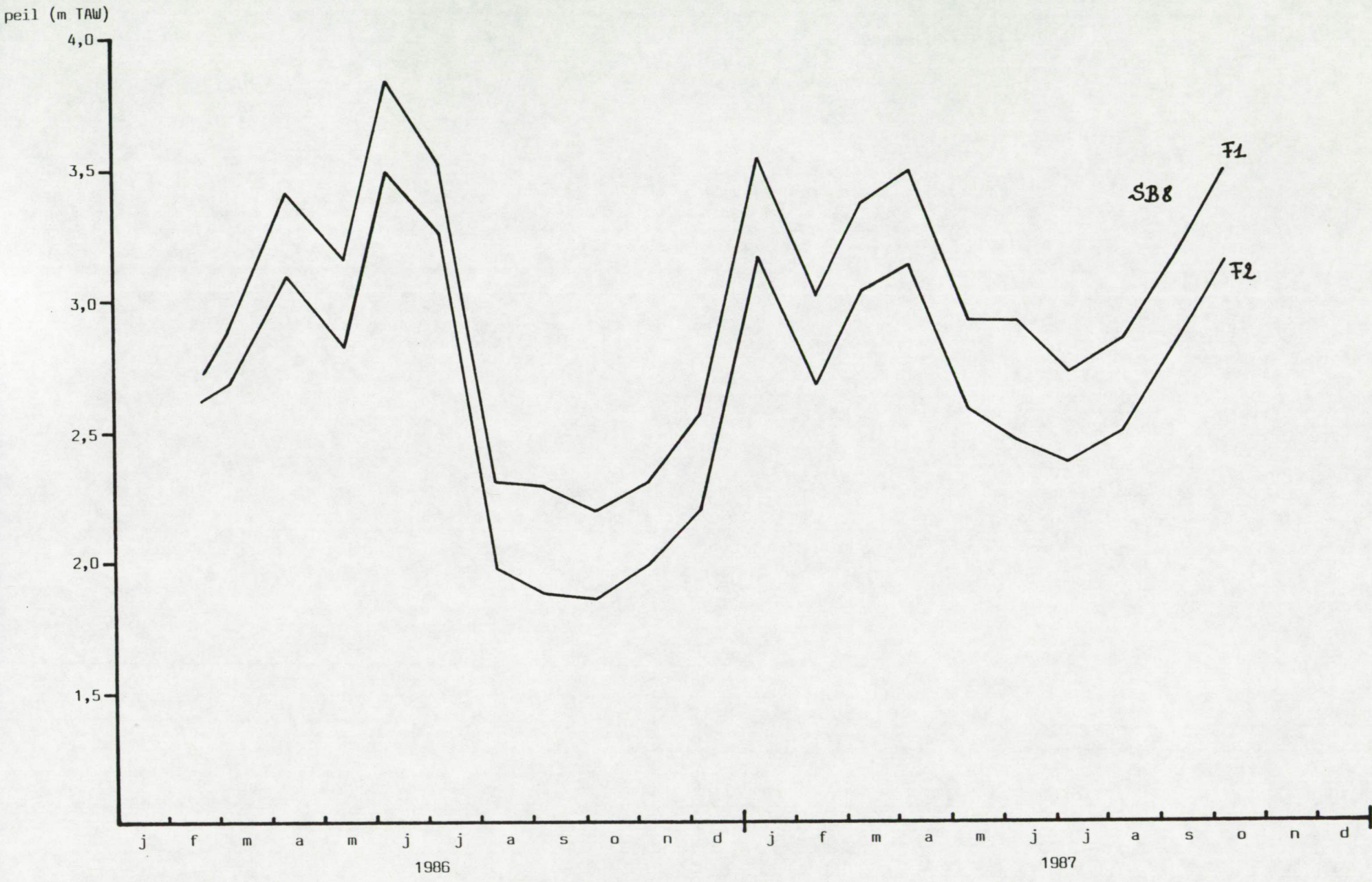
j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

1986 1987

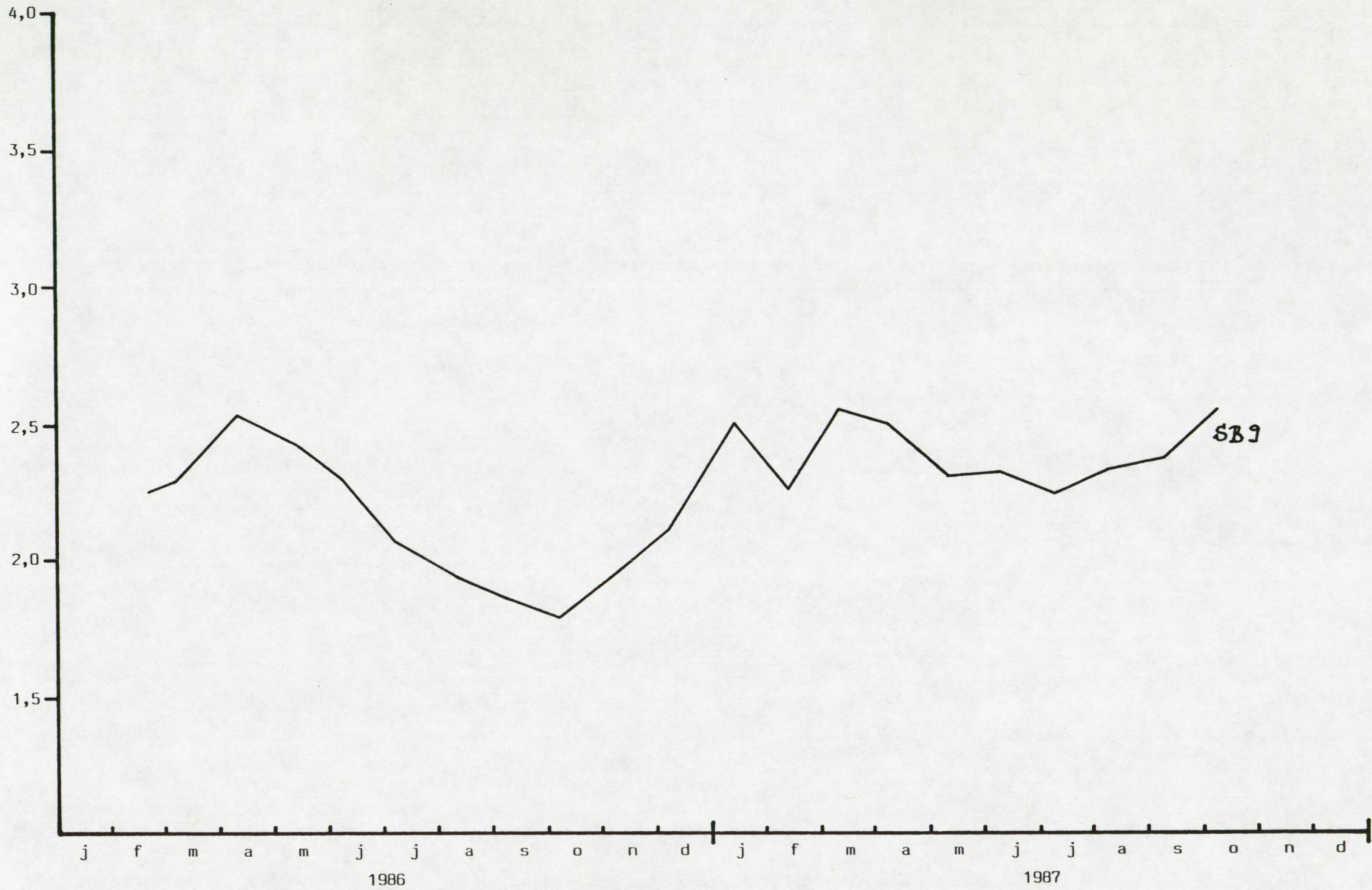


peil (m TAW)

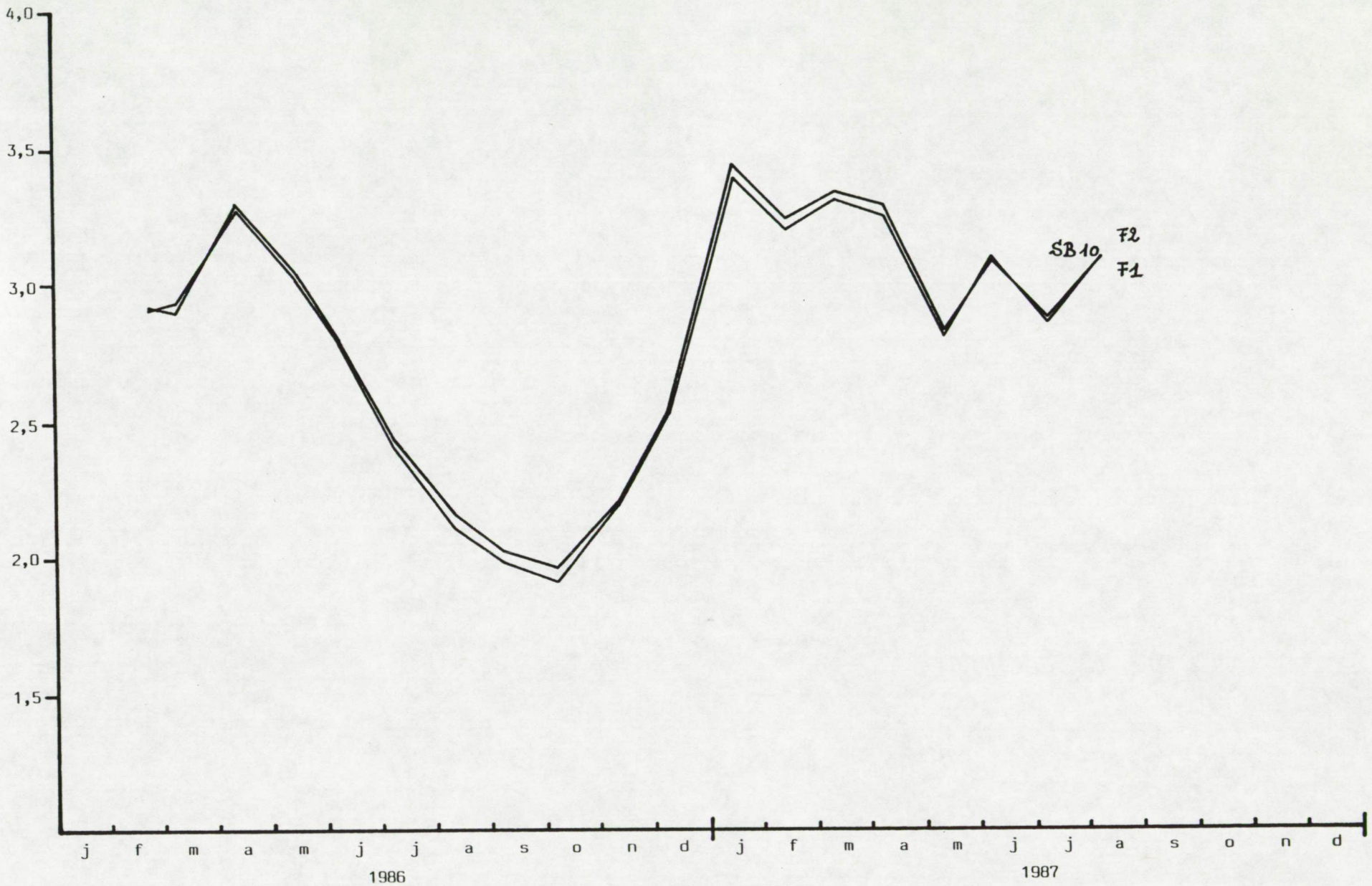




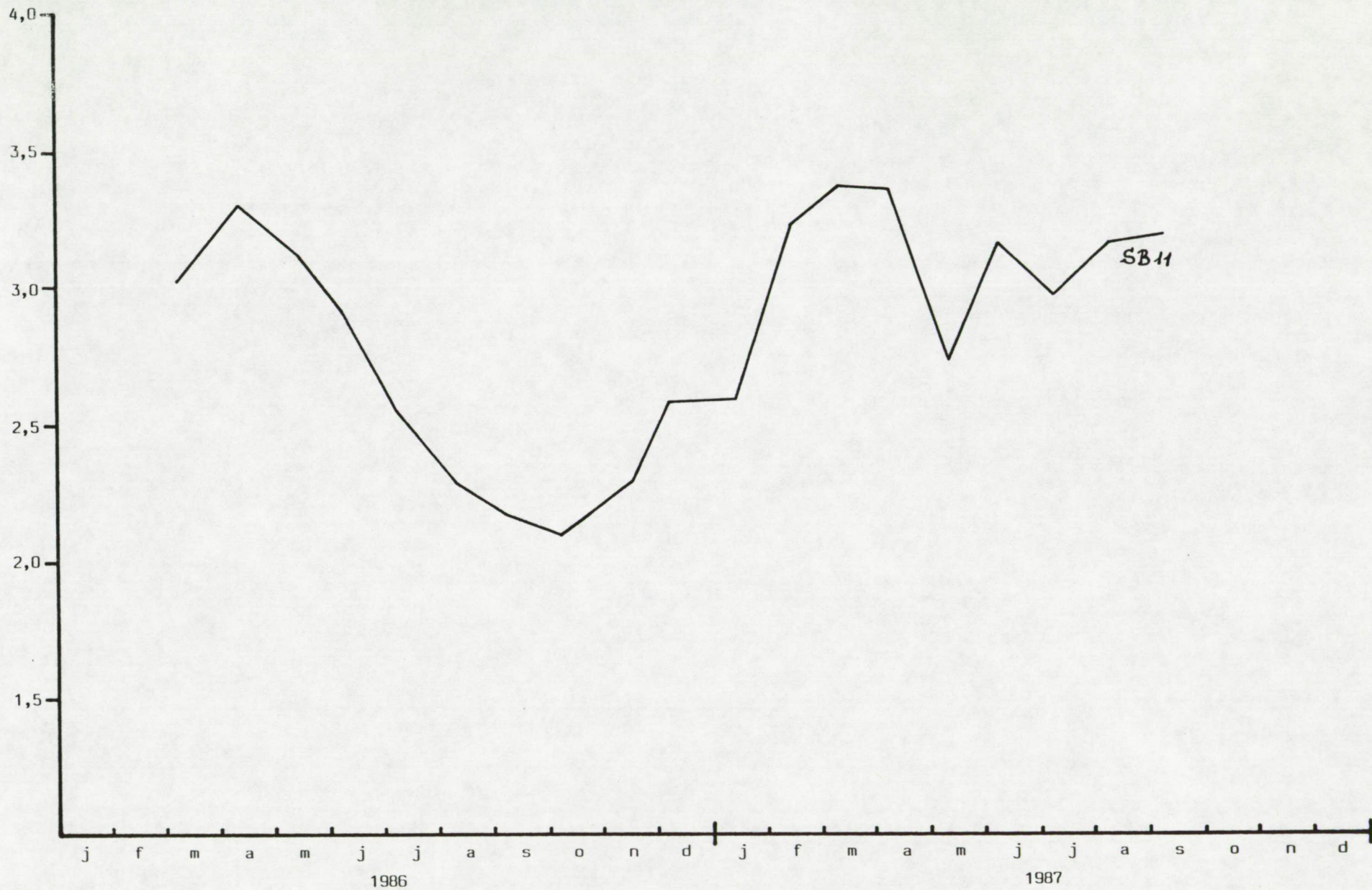
peil (m TAW)



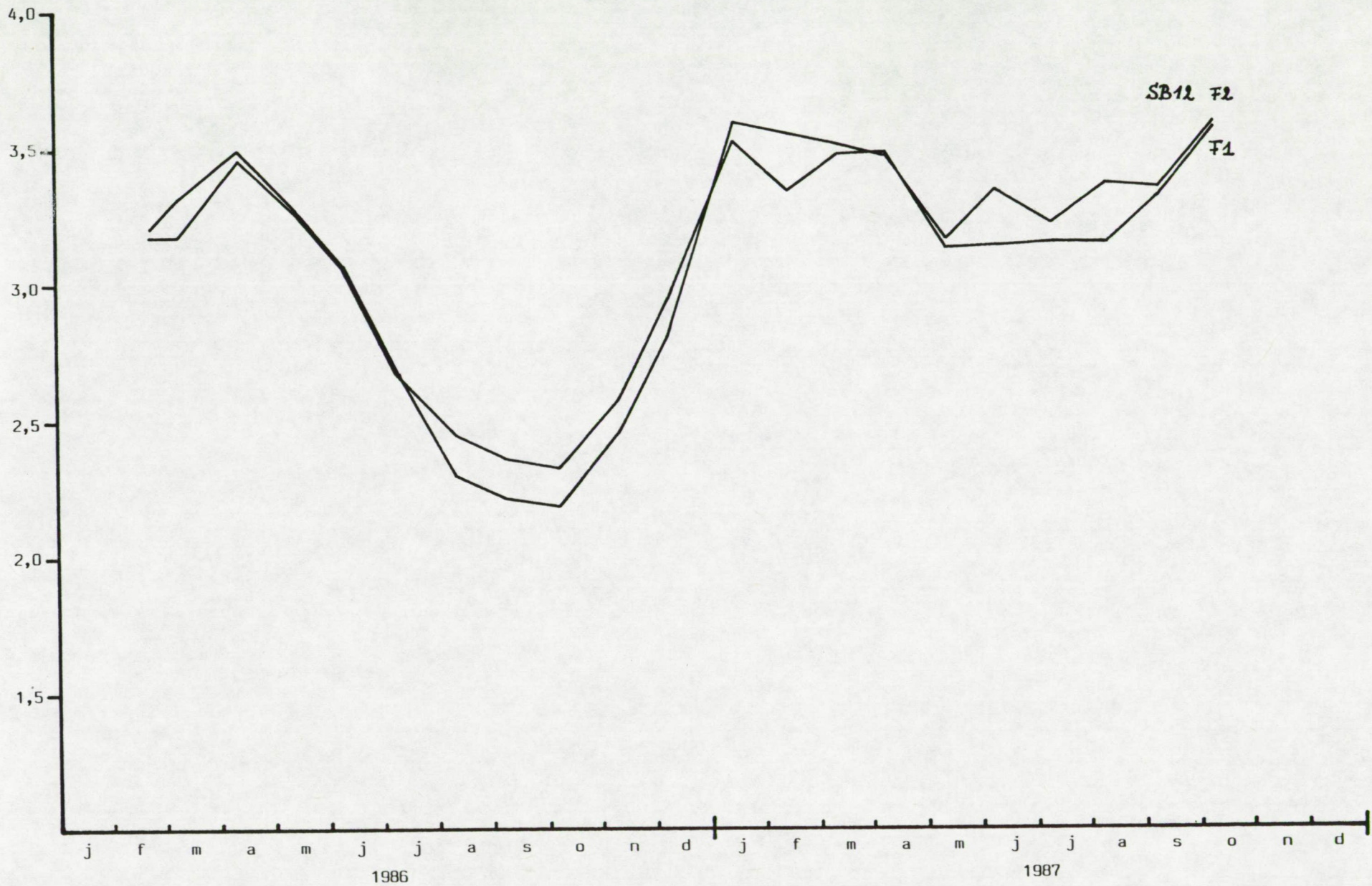
peil (m TAW)



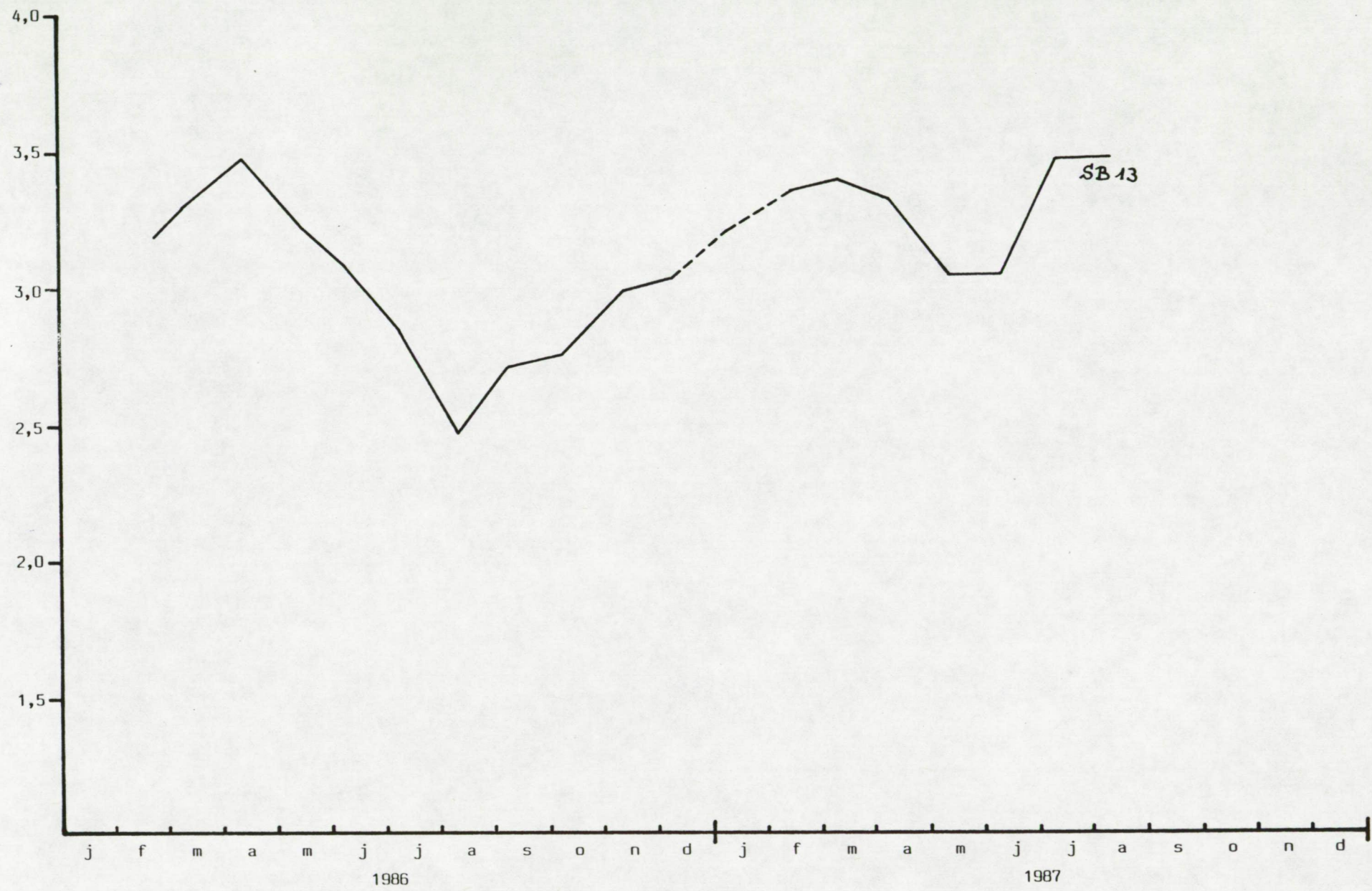
peil (m TAW)



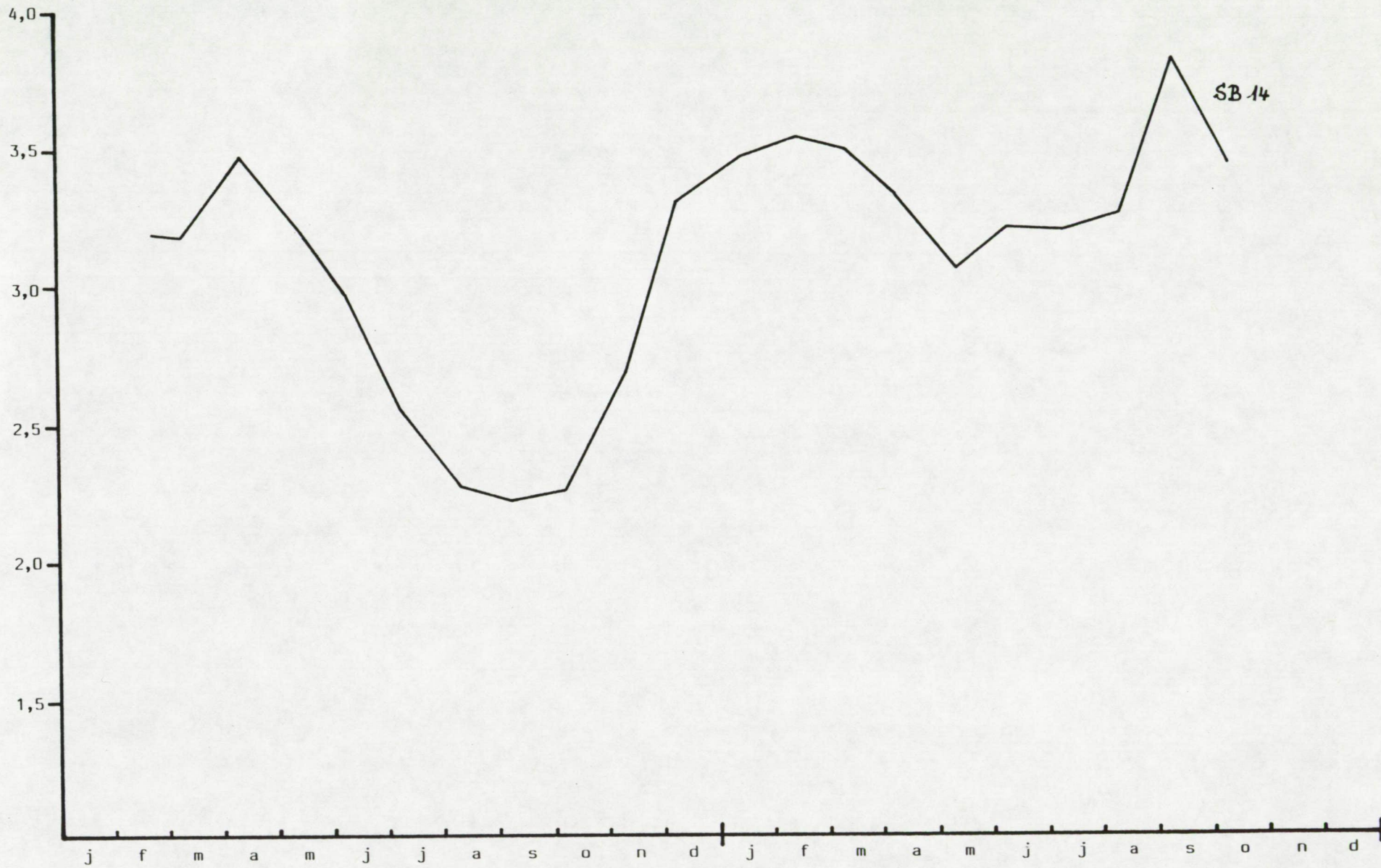
peil (m TAW)



peil (m TAW)



peil (m TAW)



SB 14

1986

1987

peil (m TAW)

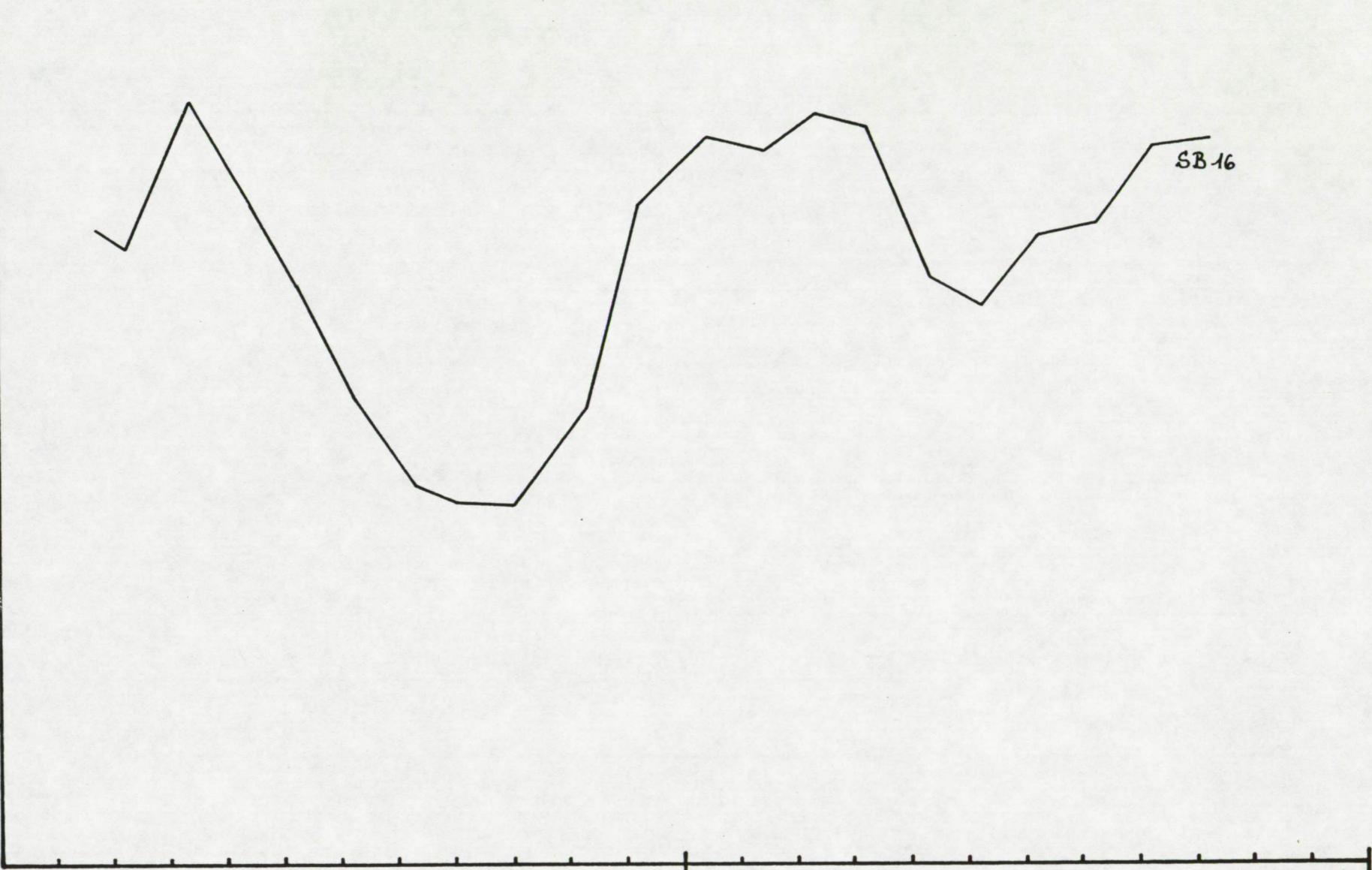
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

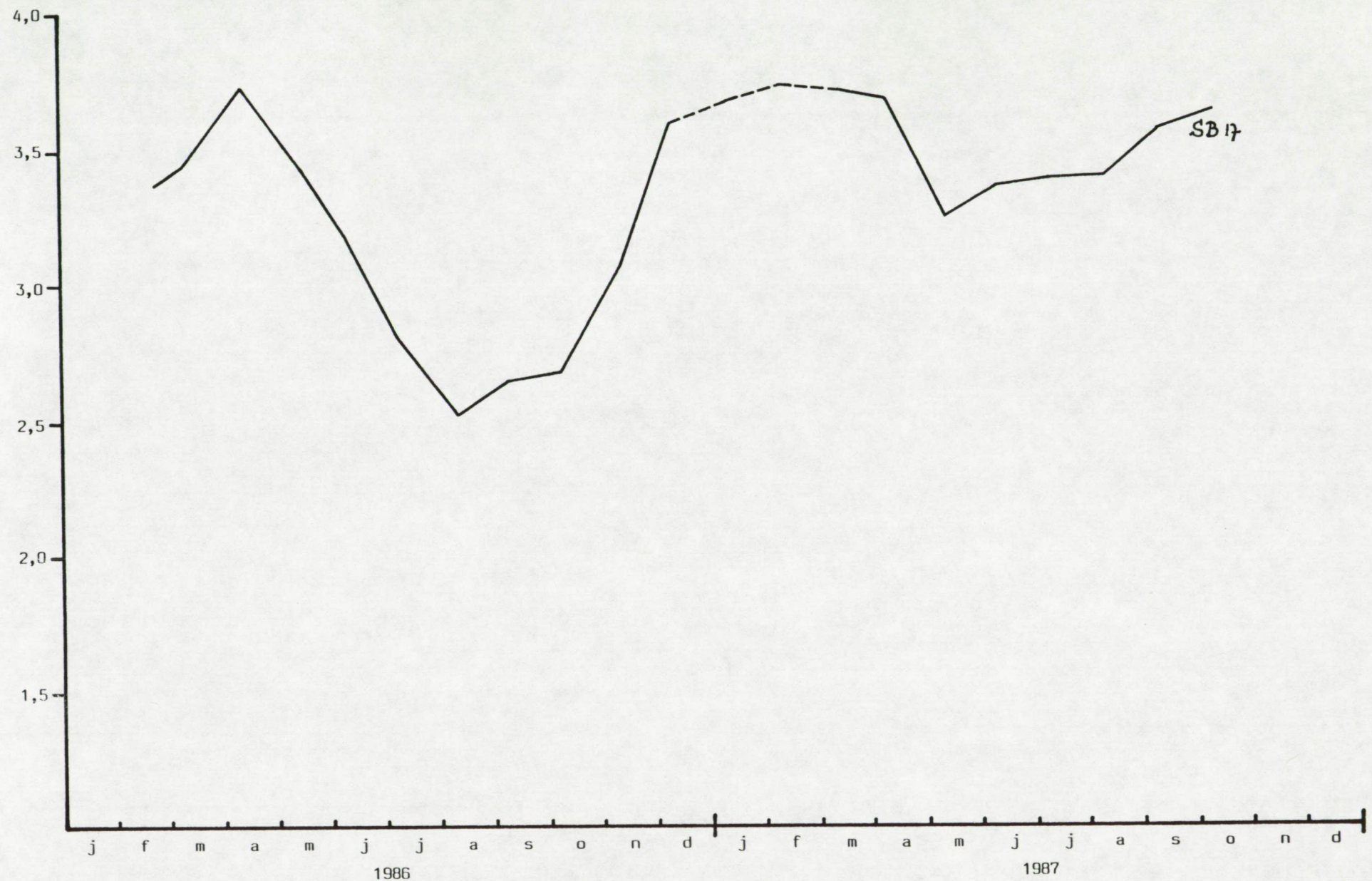
1986

1987

SB 16



peil (m TAW)



SB 17

peil (m TAW)

4,0

3,5

3,0

2,5

2,0

1,5

j

f

m

a

m

j

j

a

s

o

n

d

j

f

m

a

m

j

j

a

s

o

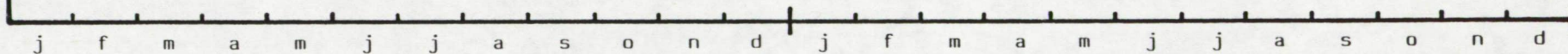
n

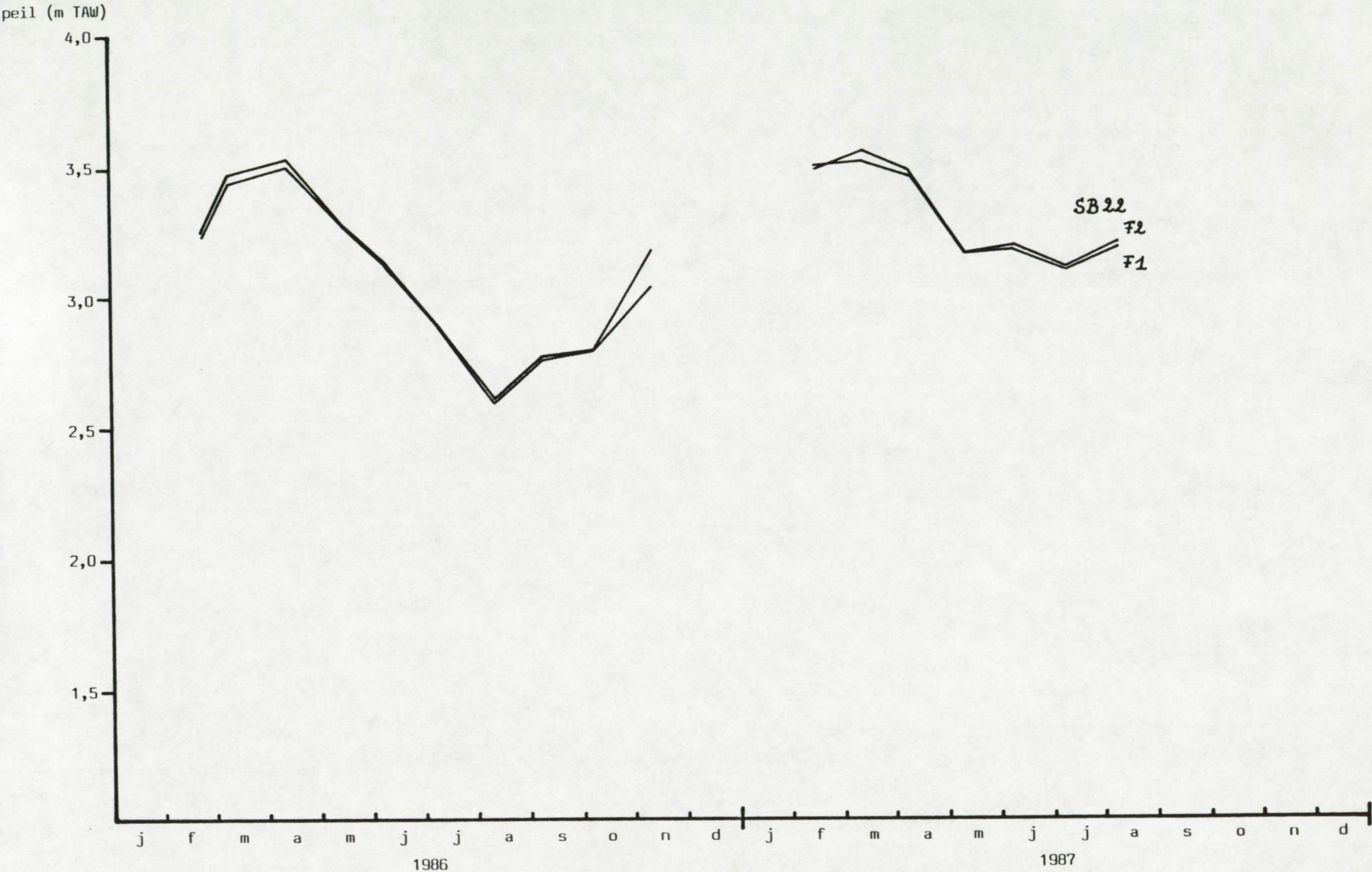
d

1986

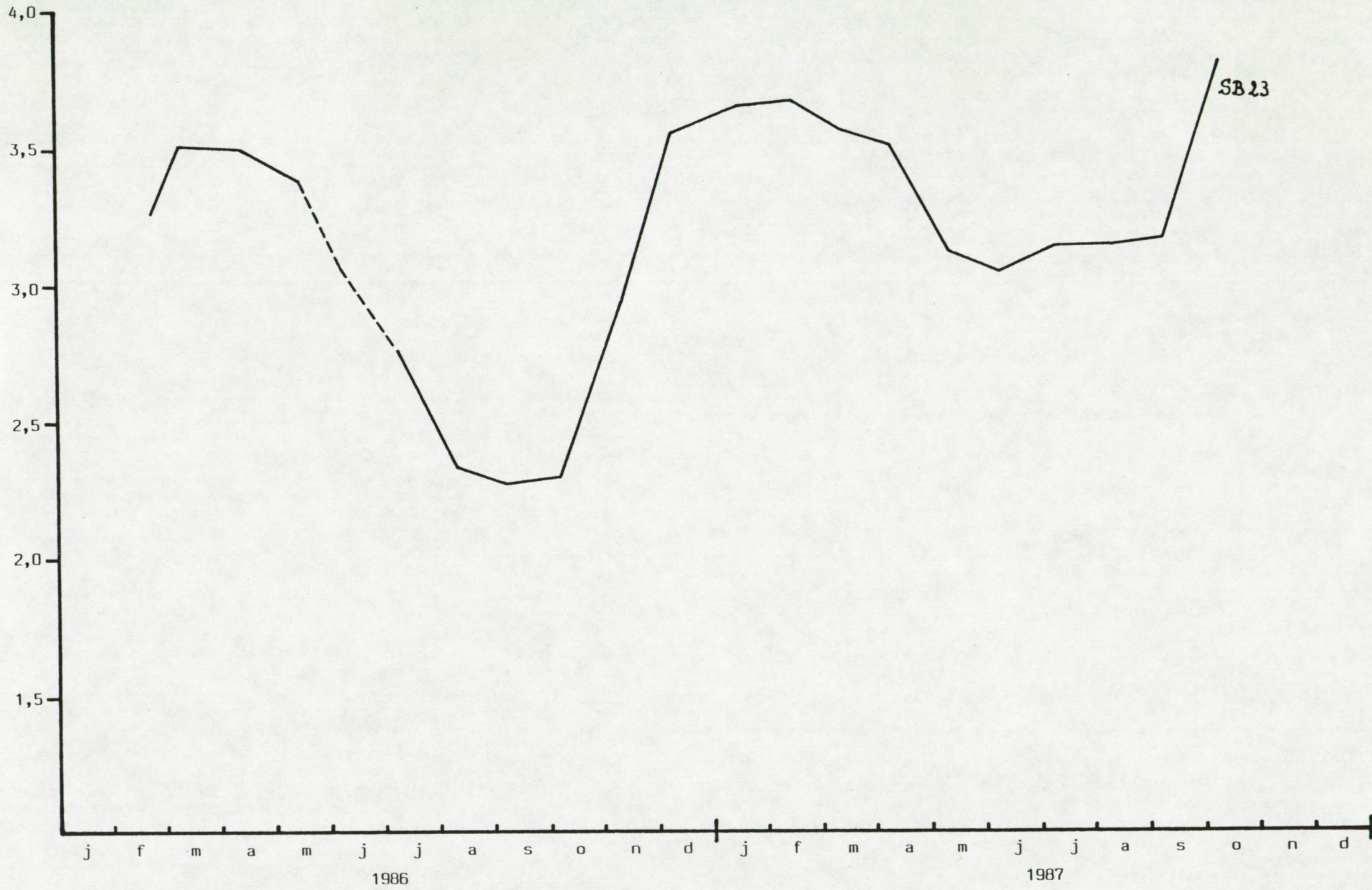
1987

SB 18

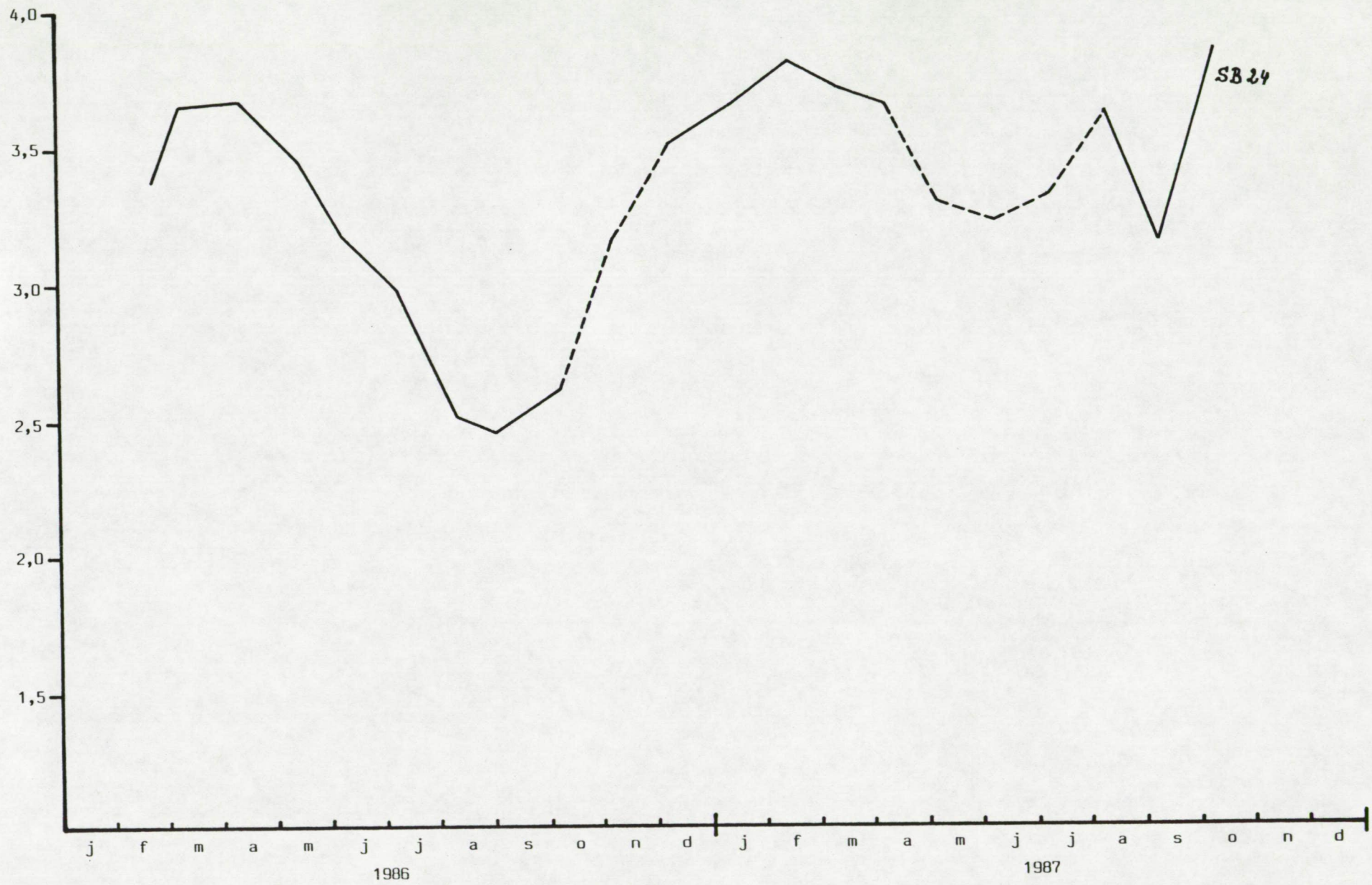


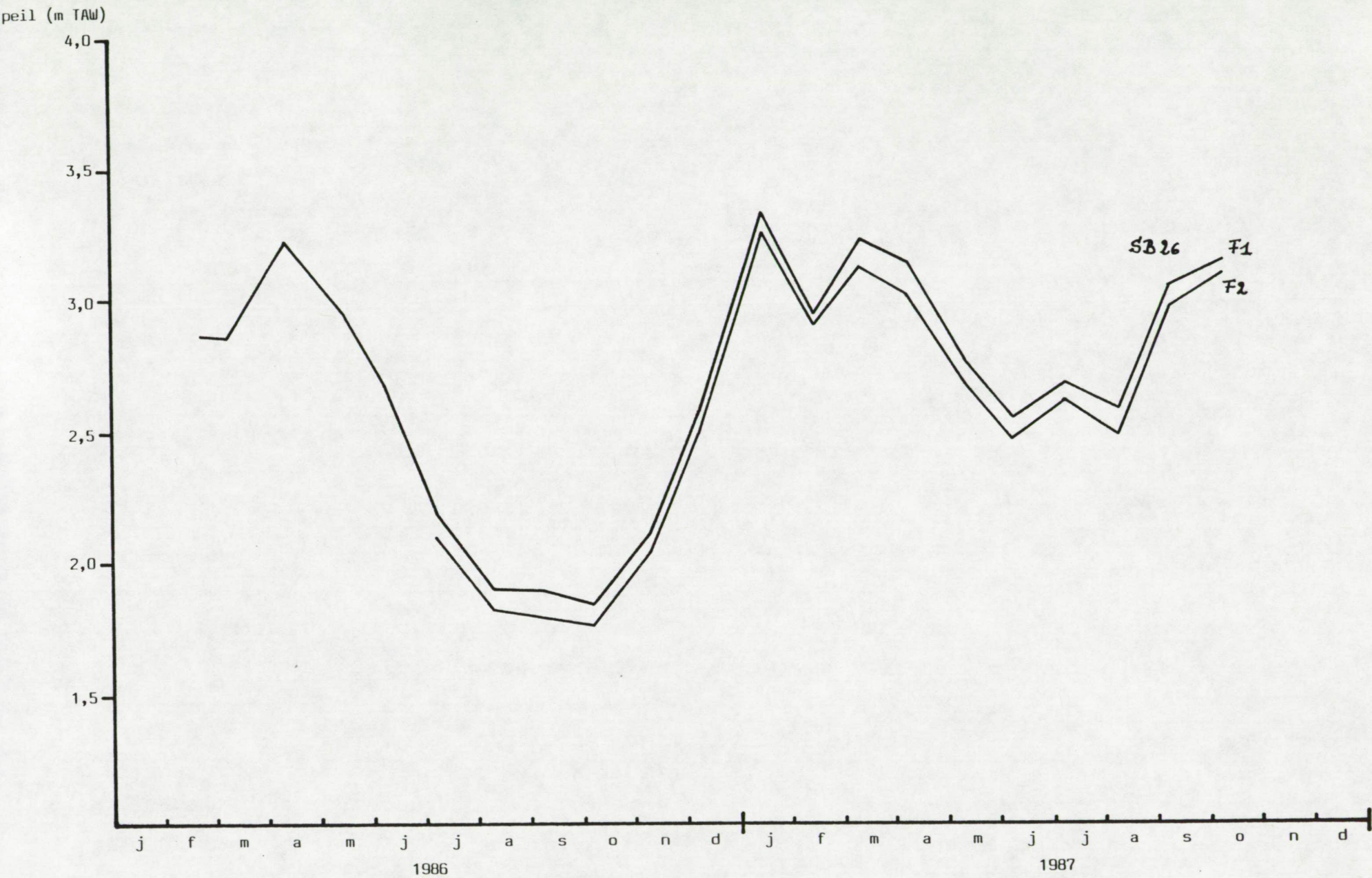


peil (m TAW)

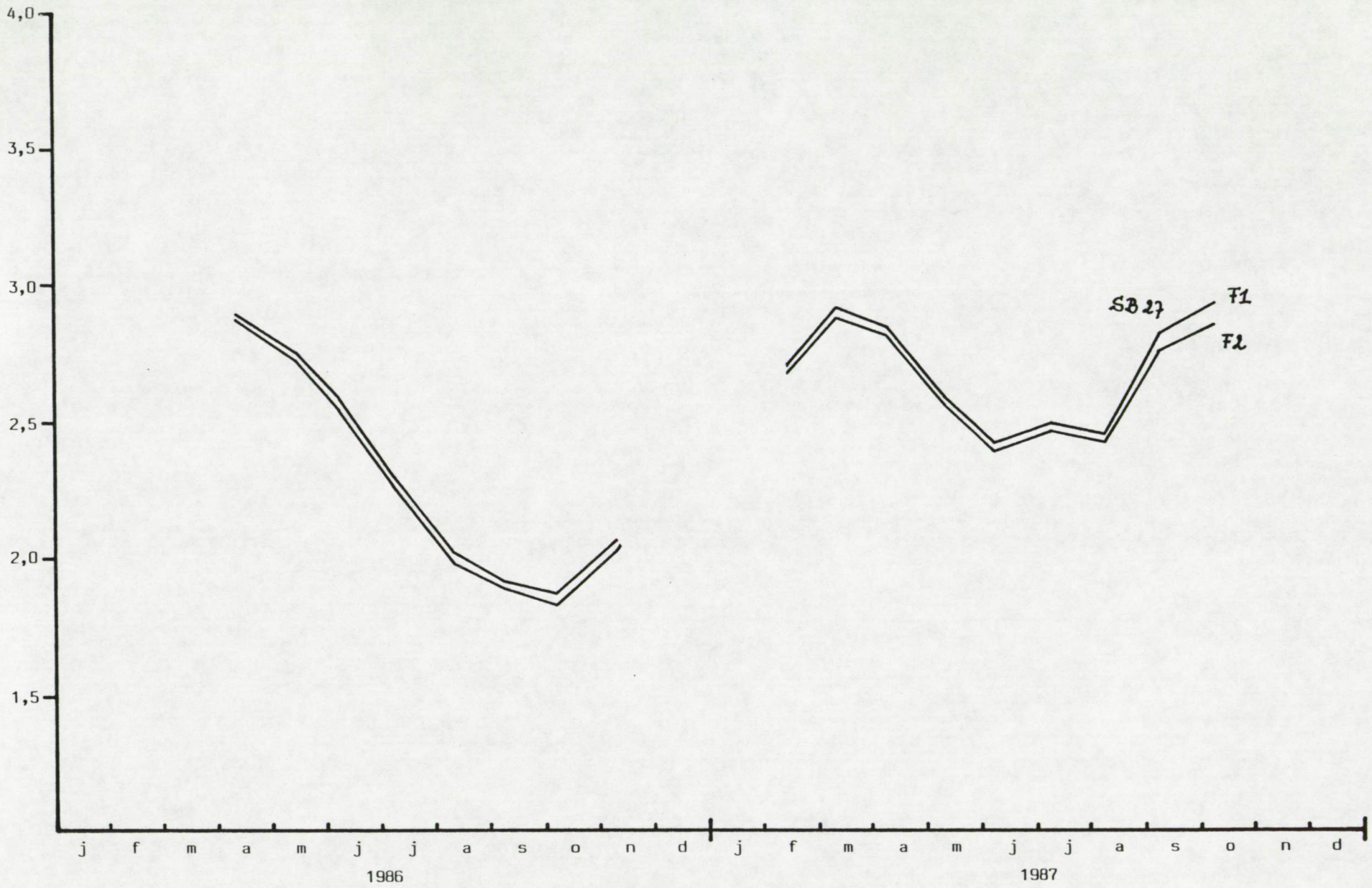


peil (m TAW)

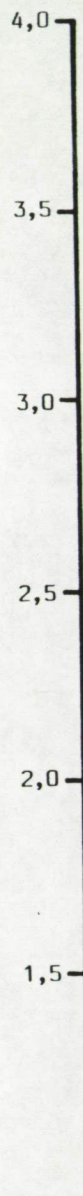




peil (m TAW)

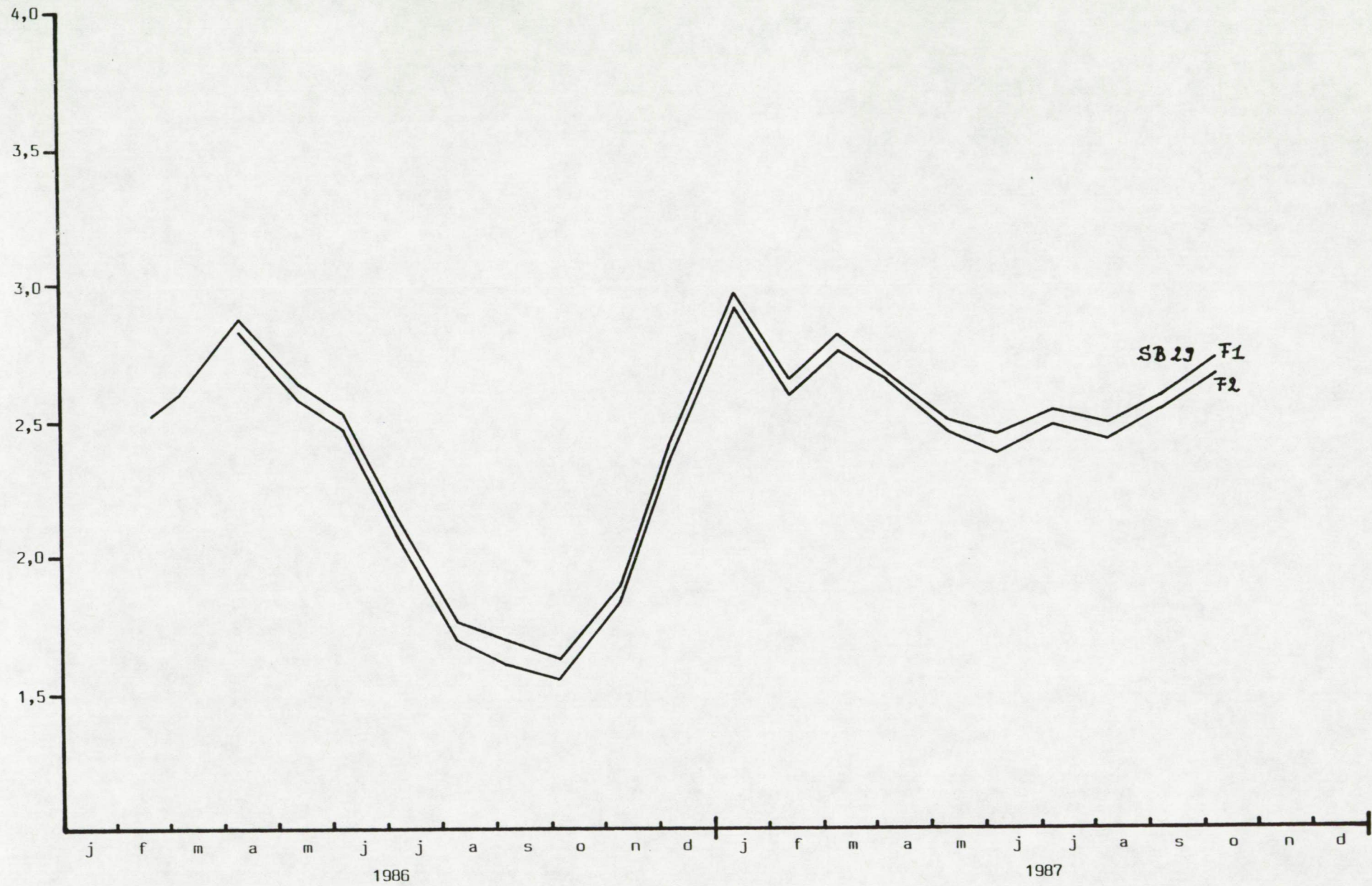


peil (m 1980)



SB28
F1
F2

peil (m TAW)



peil (m TAW)

4,0

3,5

3,0

2,5

2,0

1,5

SB 30

F2

F1

j

f

m

a

m

j

j

a

s

o

n

d

j

f

m

a

m

j

j

a

s

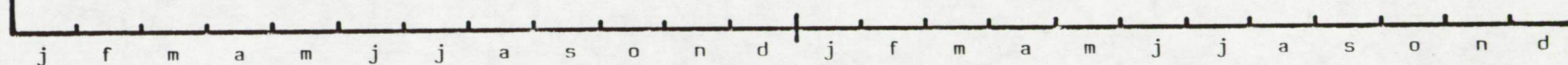
o

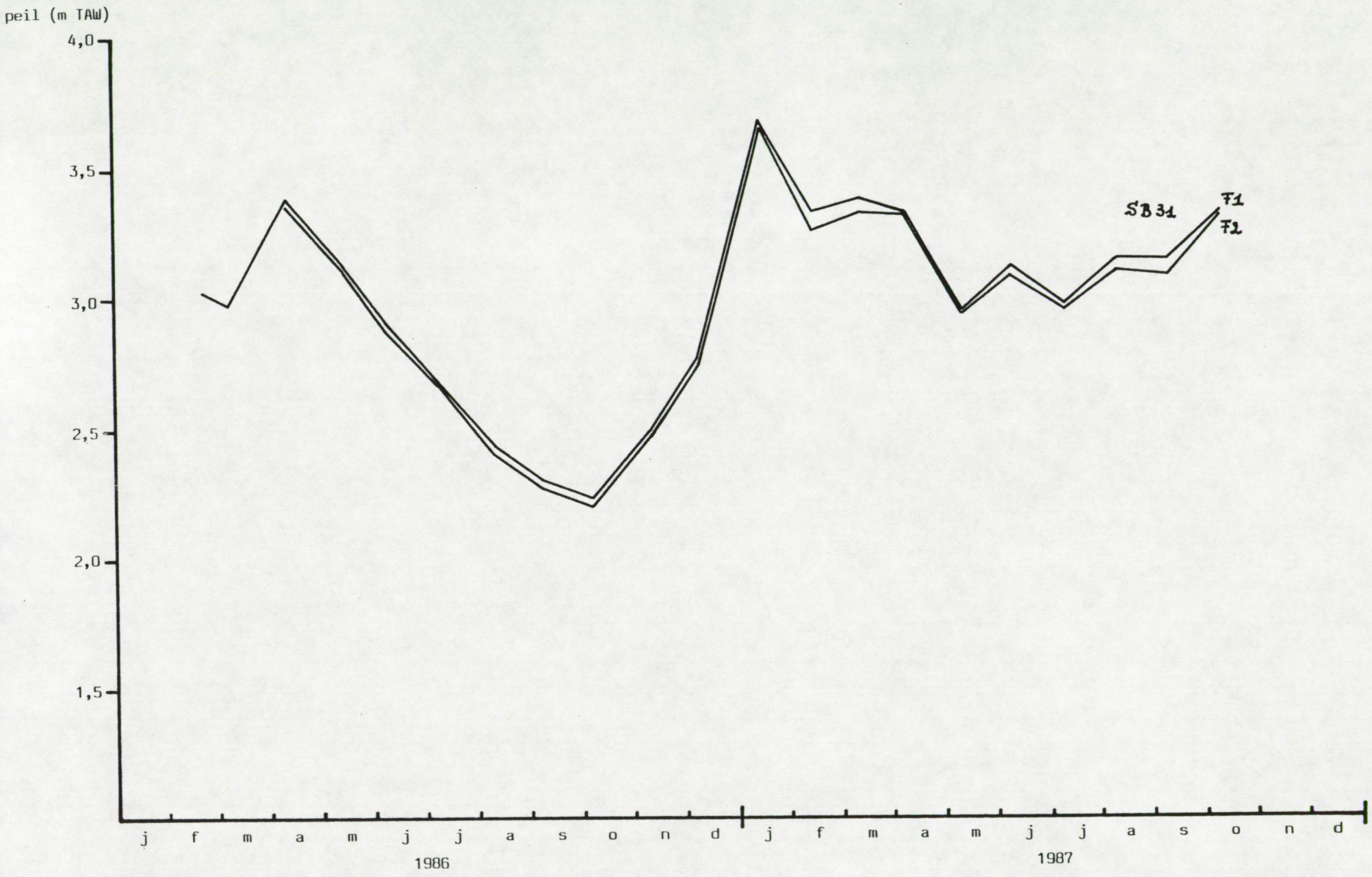
n

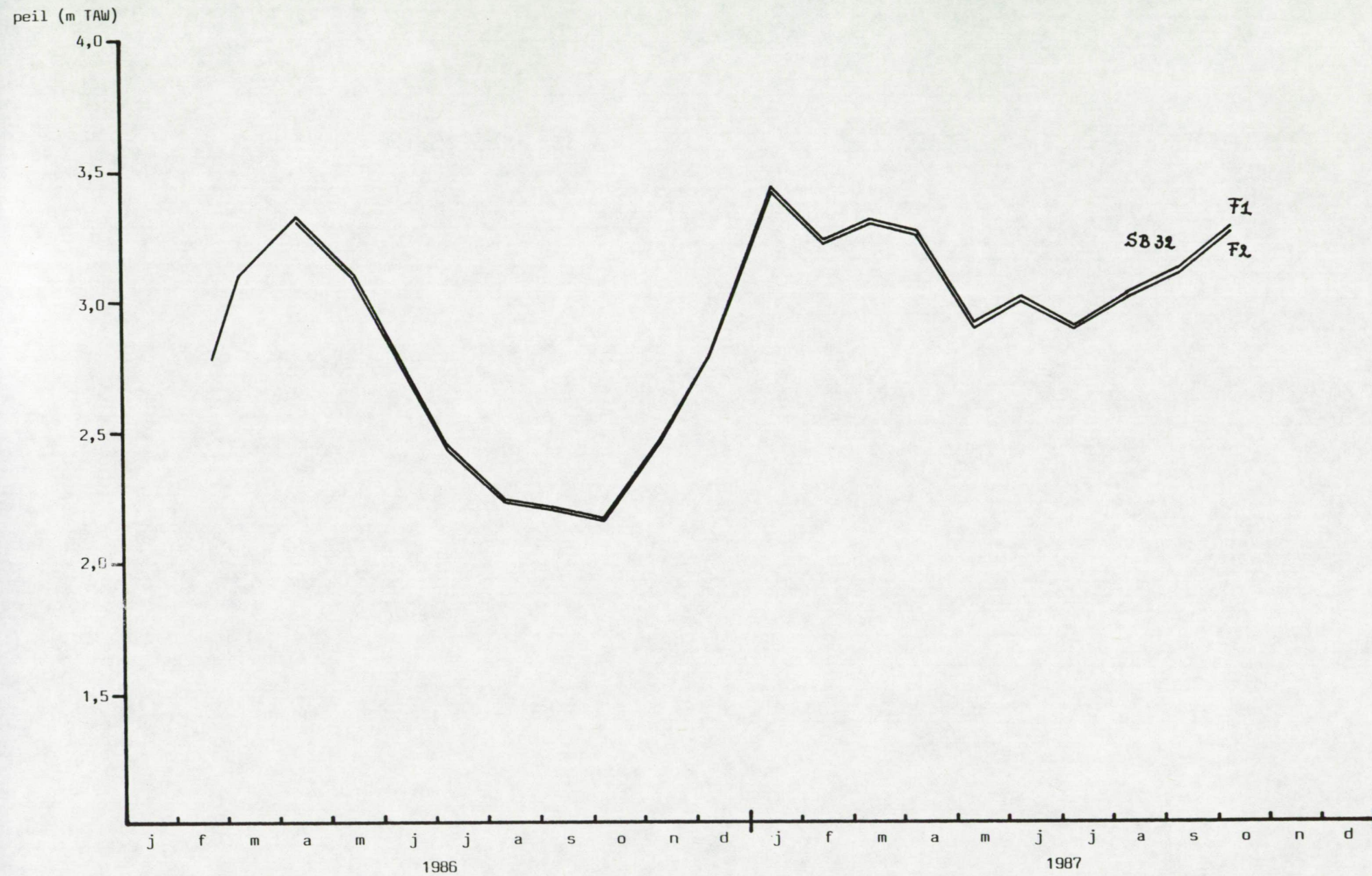
d

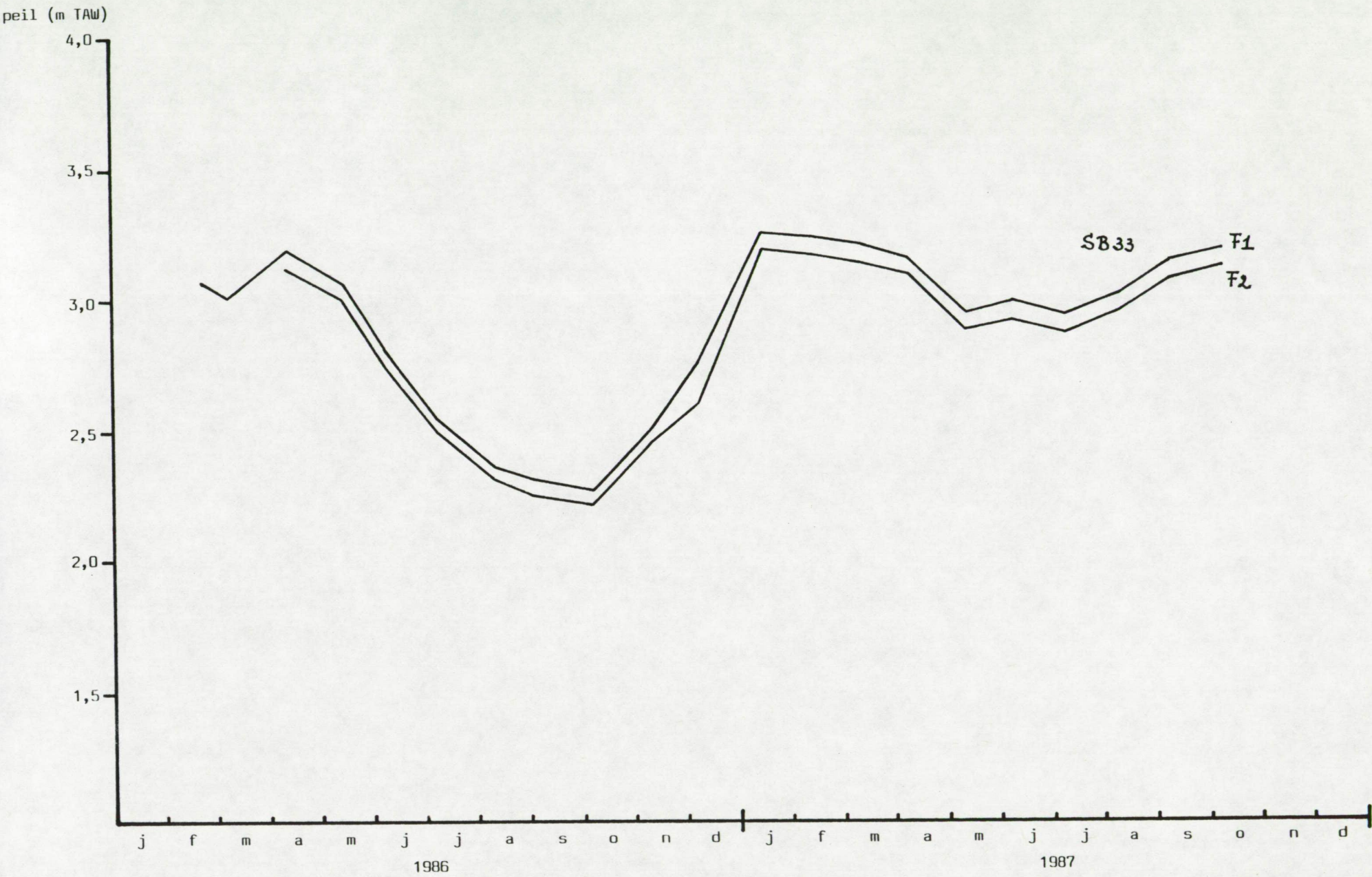
1986

1987

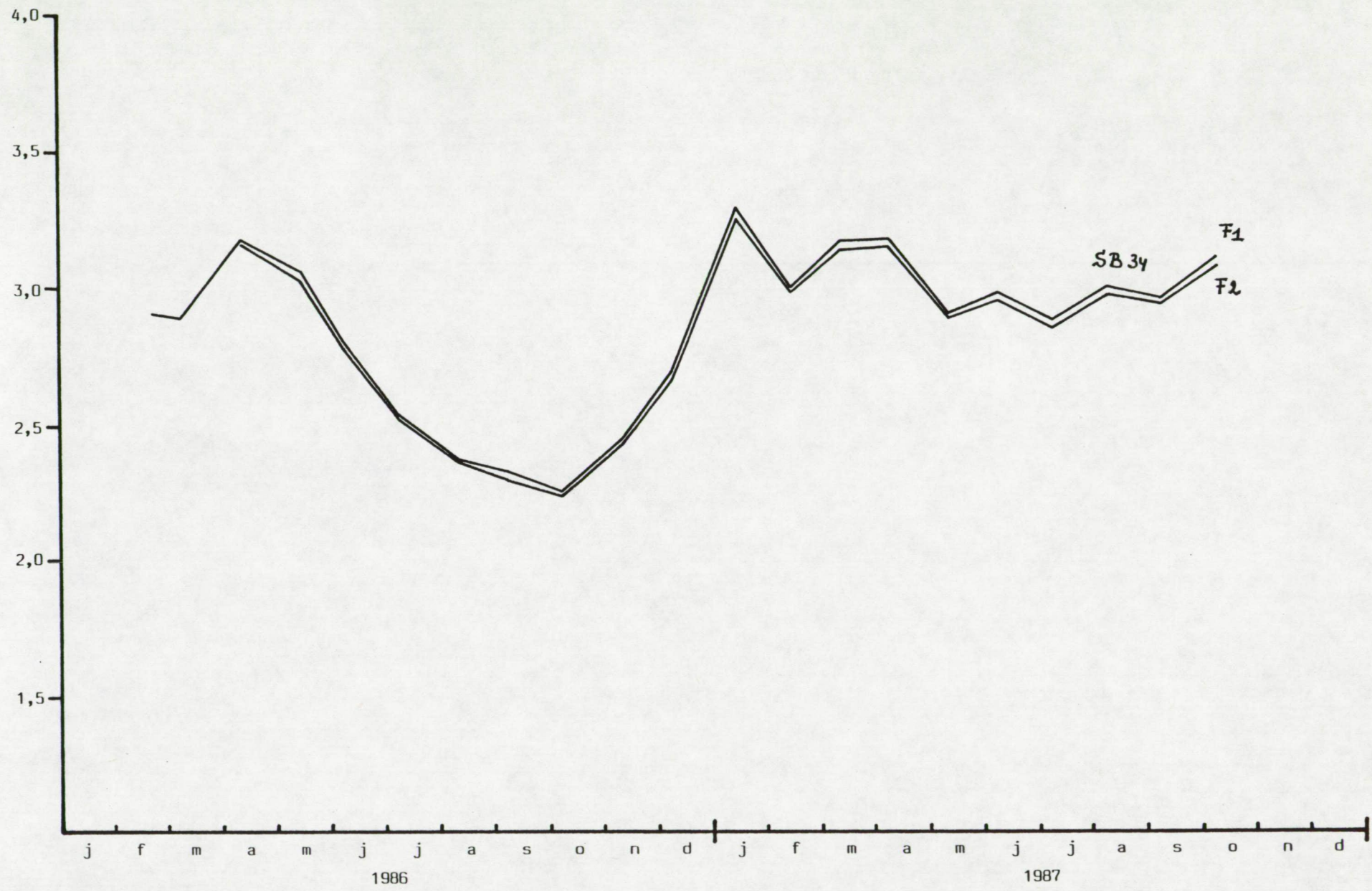








peil (m TAW)



peil (m TAW)

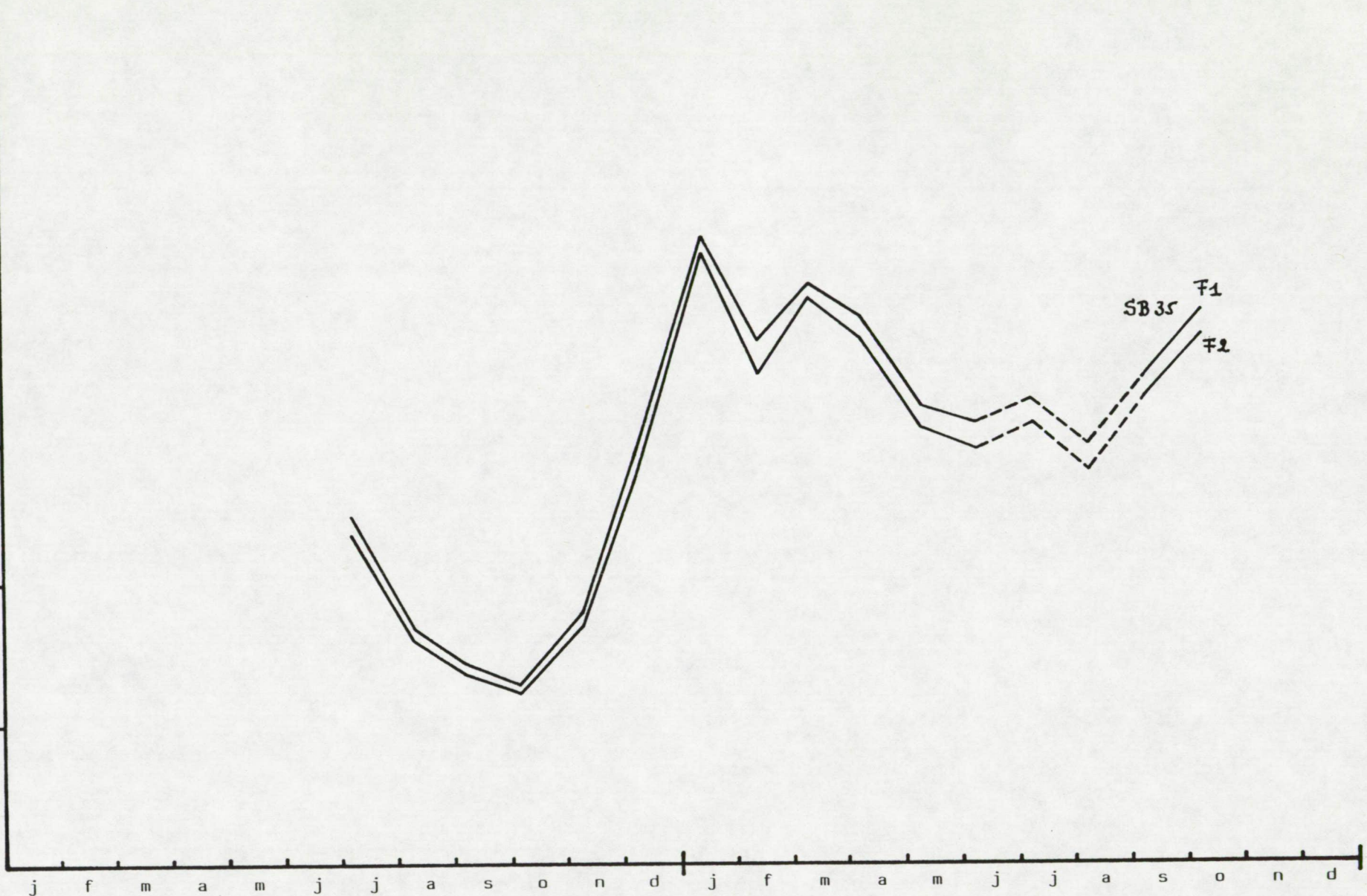
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

1986

1987

SB 35
F1
F2



peil (m TAW)

4,0

3,5

3,0

2,5

2,0

1,5

SB 36

j

f

m

a

m

j

j

a

s

o

n

d

j

f

m

a

m

j

j

a

s

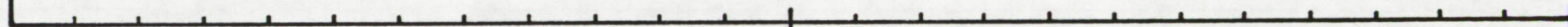
o

n

d

1986

1987



peil (m TAW)

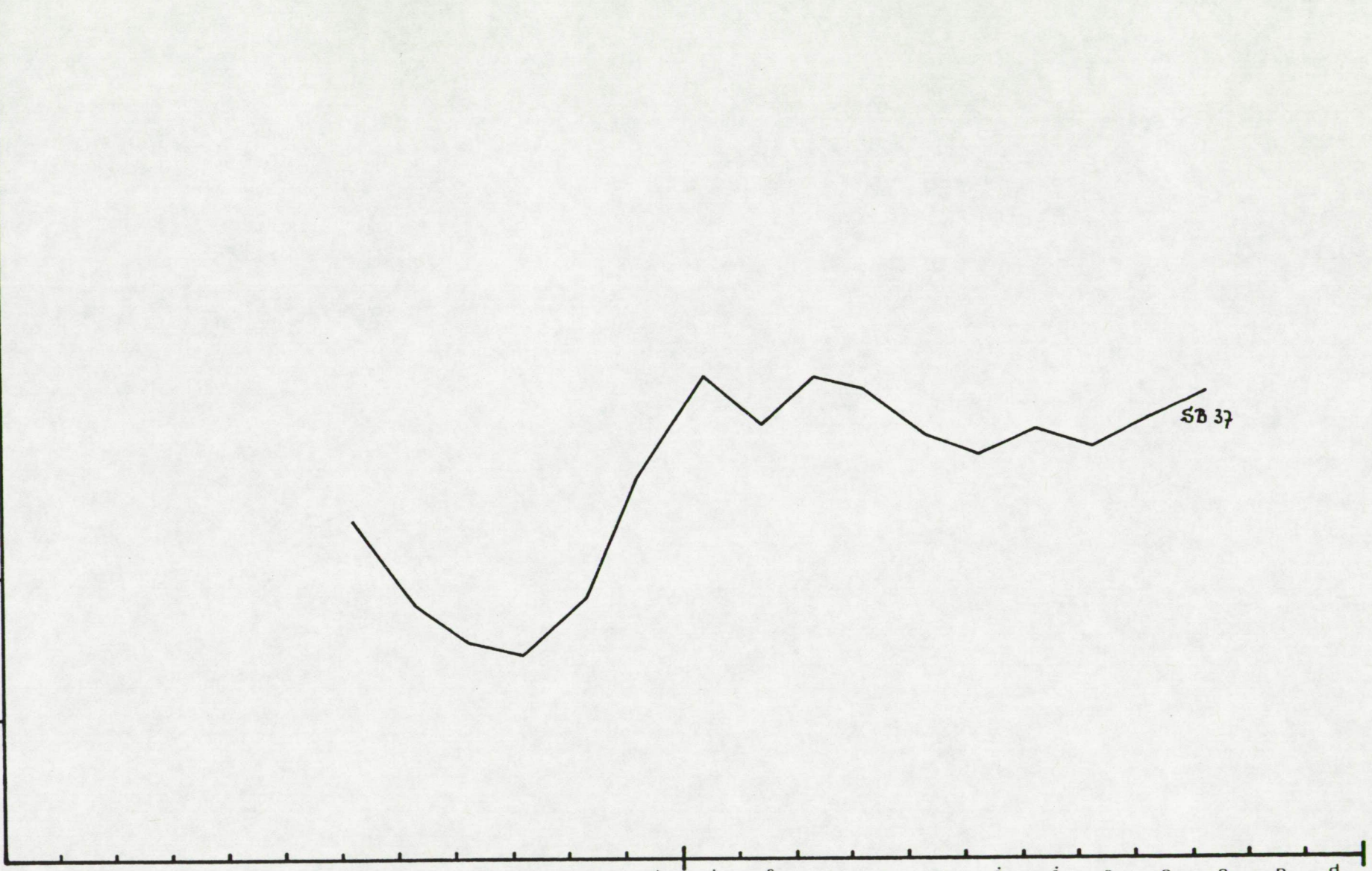
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

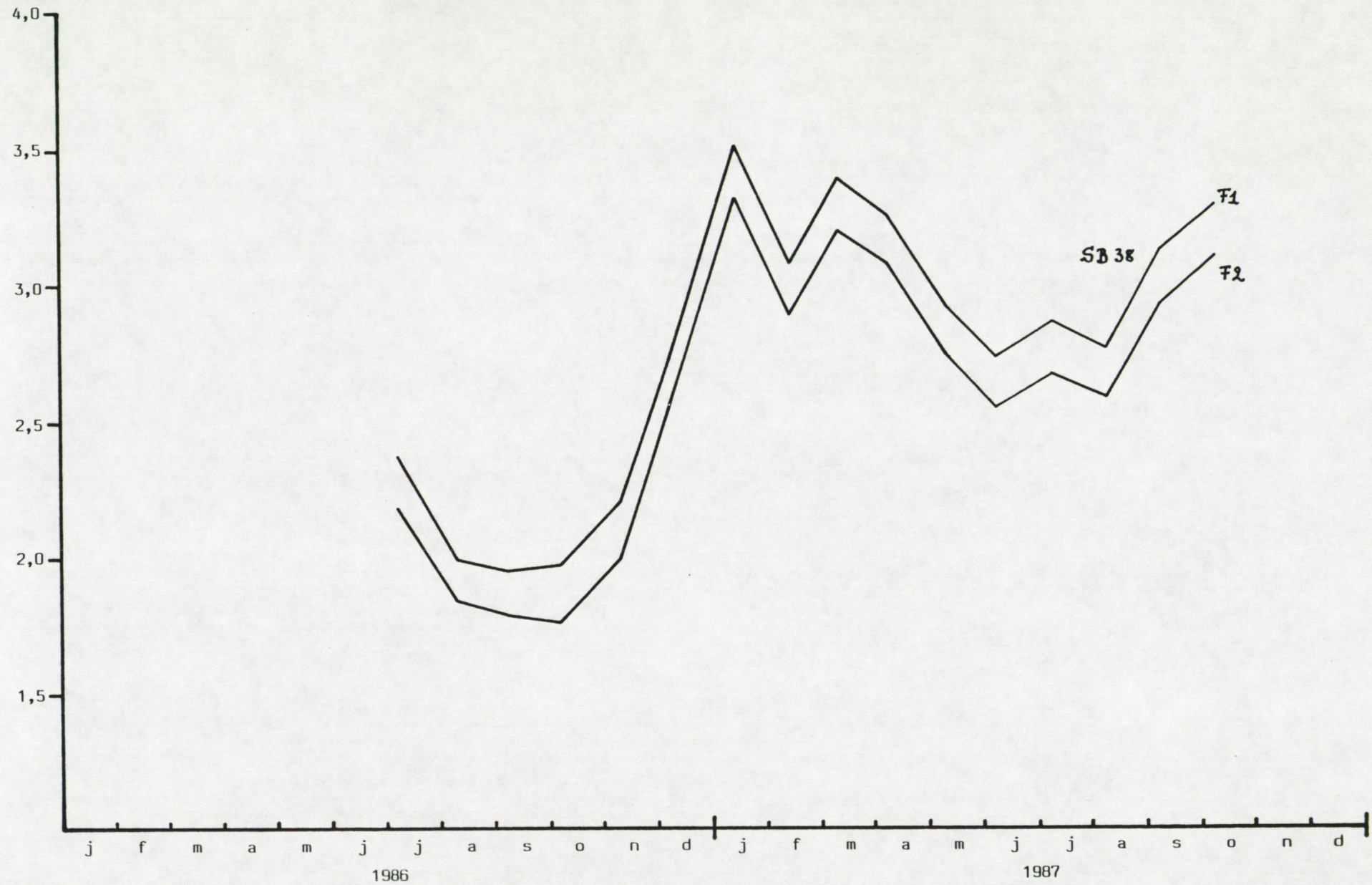
1986

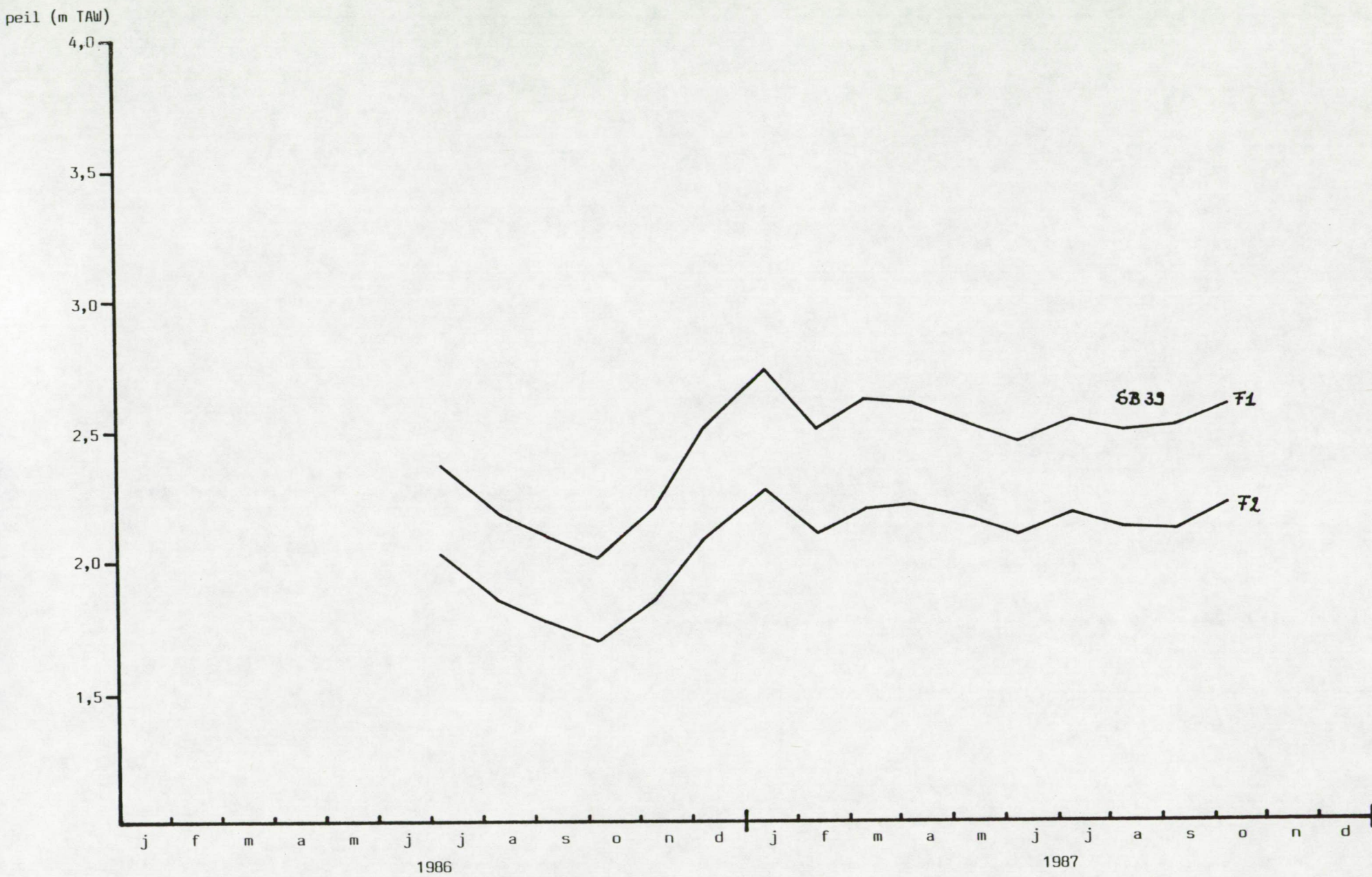
1987

SB 37

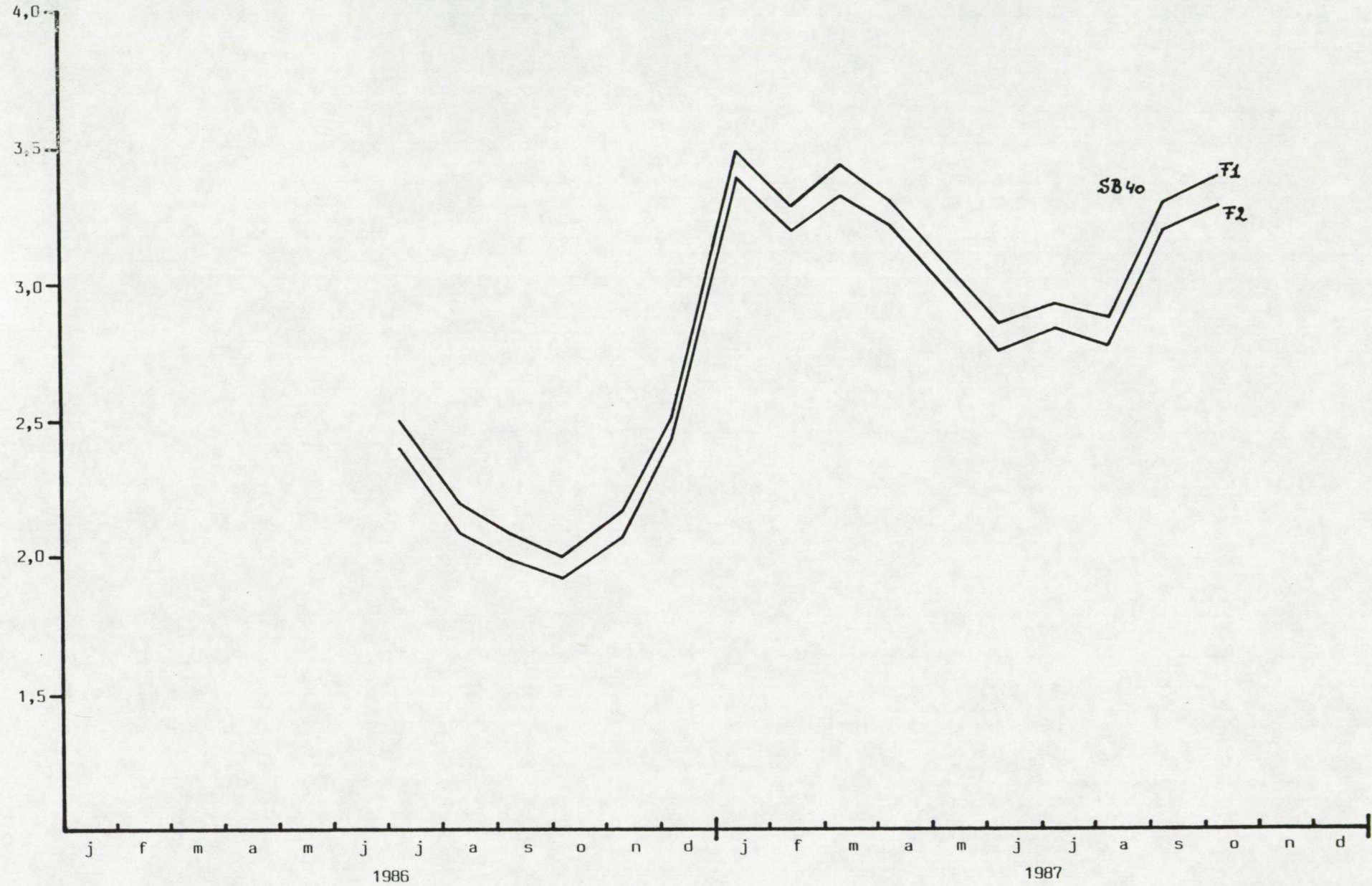


peil (m TAW)





peil (m TAW)



peil (m TAW)

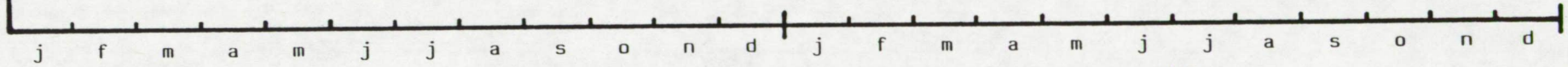
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

1986

1987

SB41 F1
F2



peil (m TAW)

4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

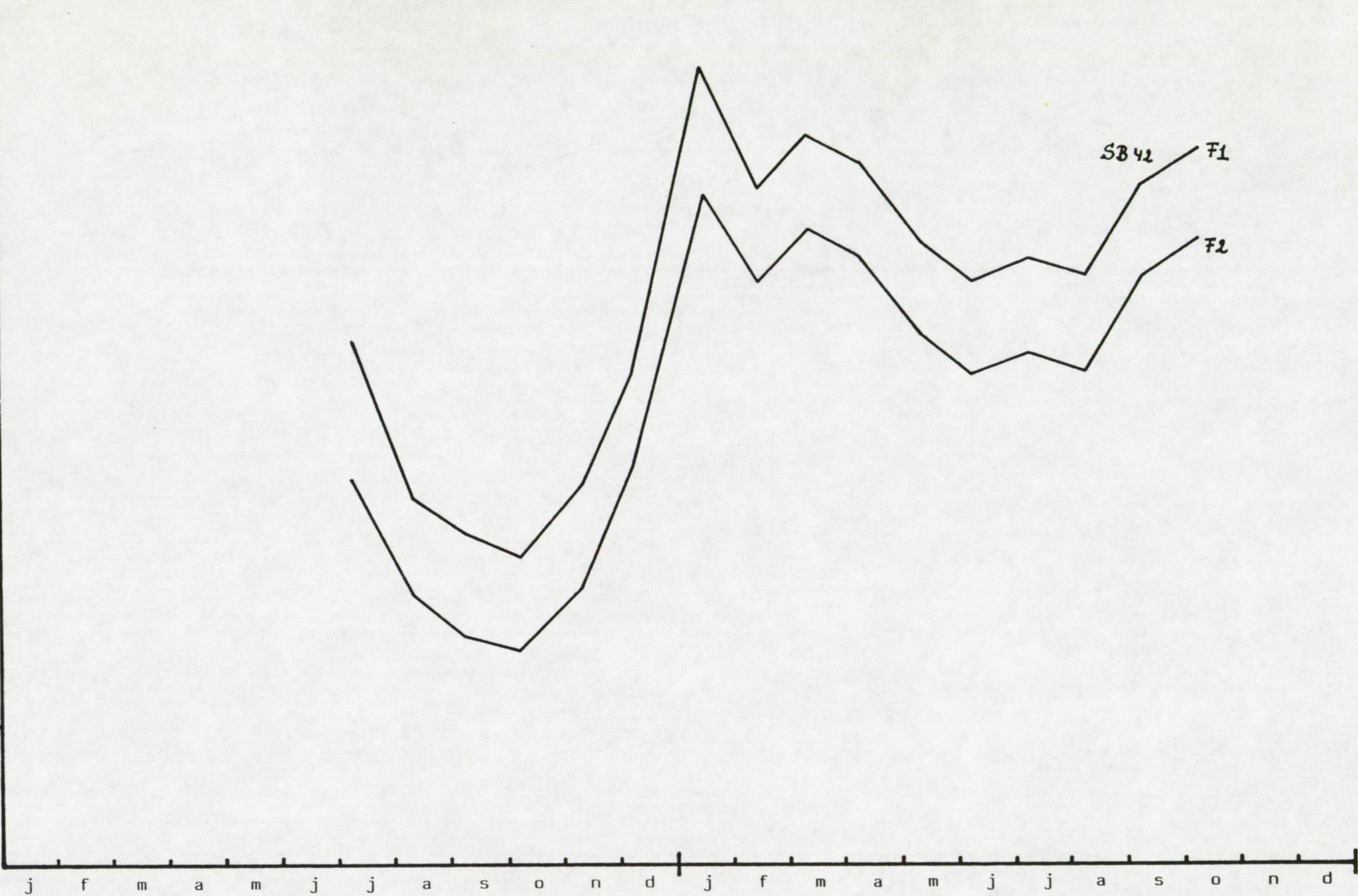
j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

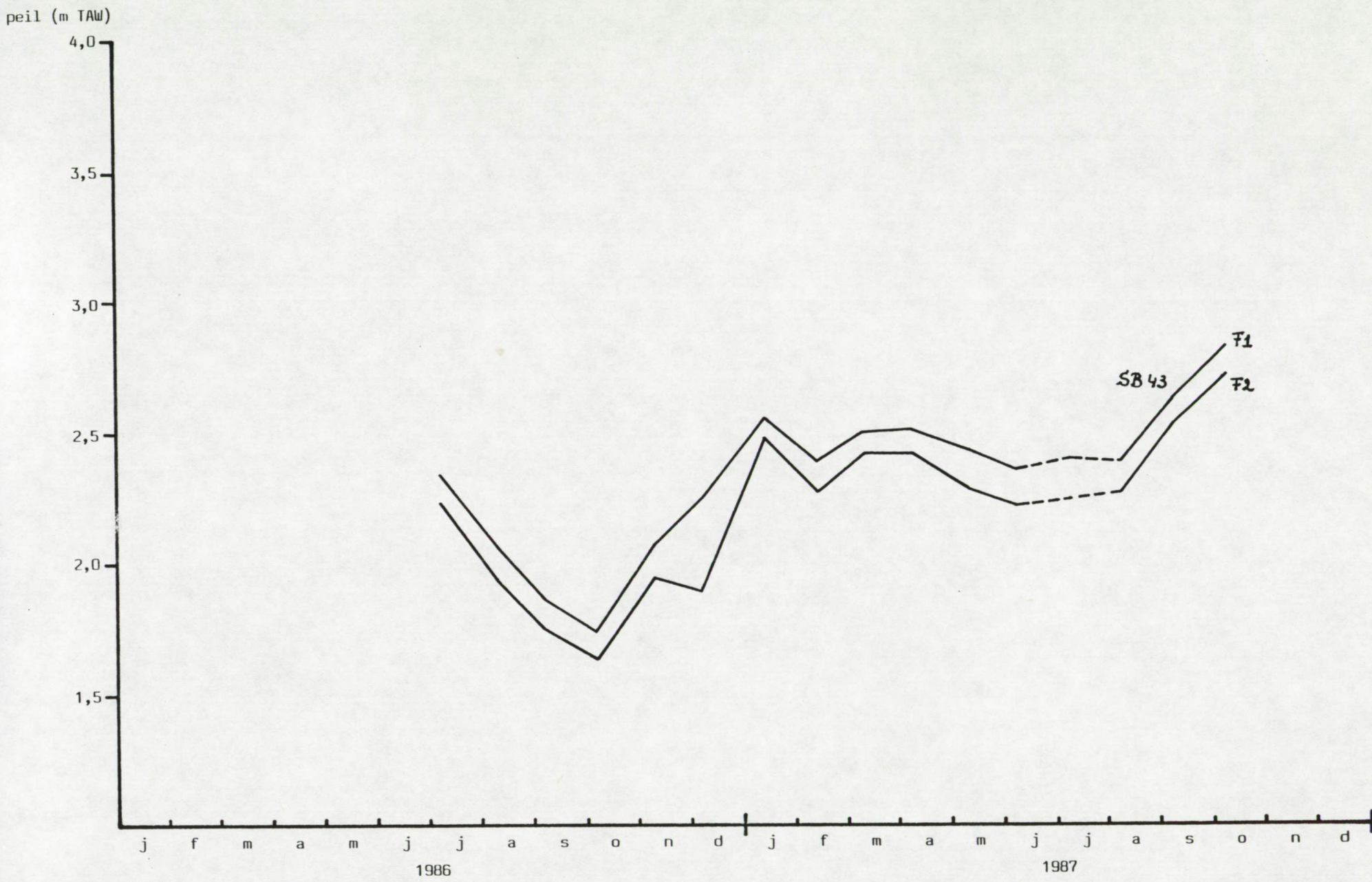
1986

1987

SB42 F1

F2





peil (m TAW)

4,0

3,5

3,0

2,5

2,0

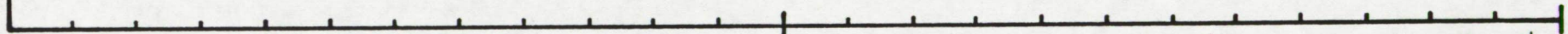
1,5

SB 44

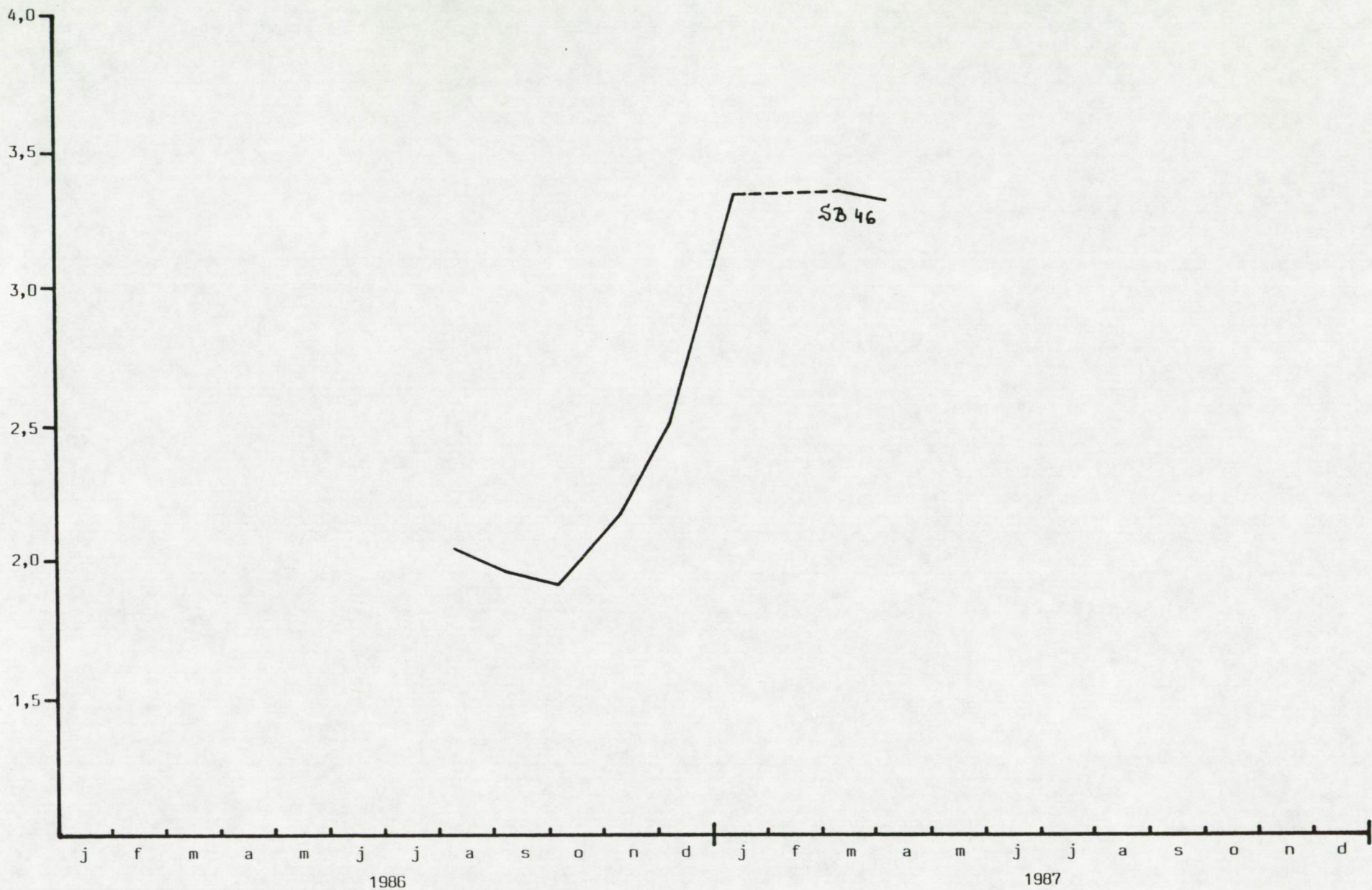
j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

1986

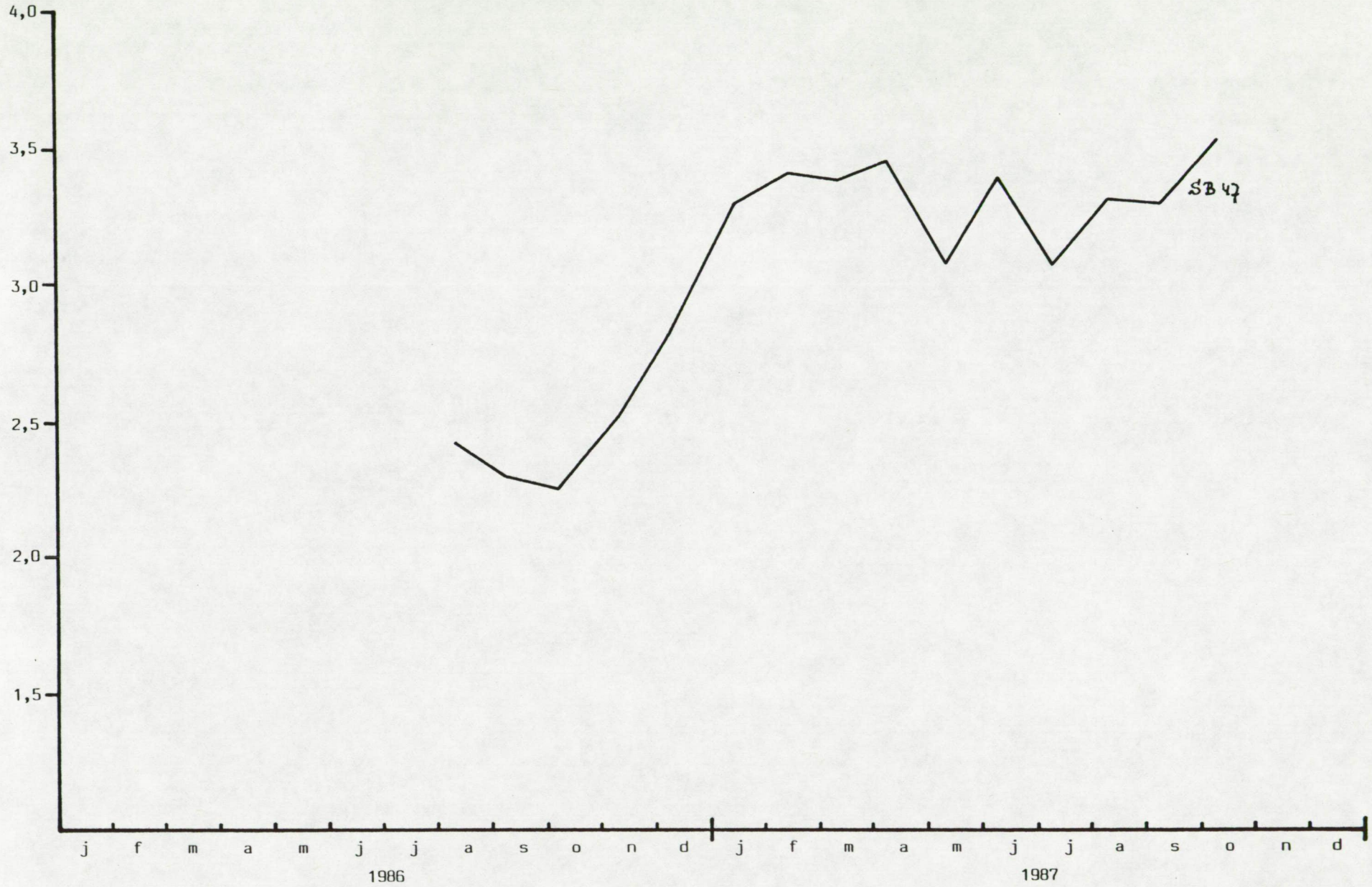
1987



peil (m TAW)



peil (m TAW)



SB 47

peil (m TAW)

4,0

3,5

3,0

2,5

2,0

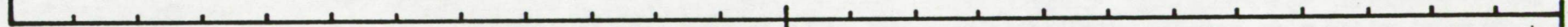
1,5

SB 48

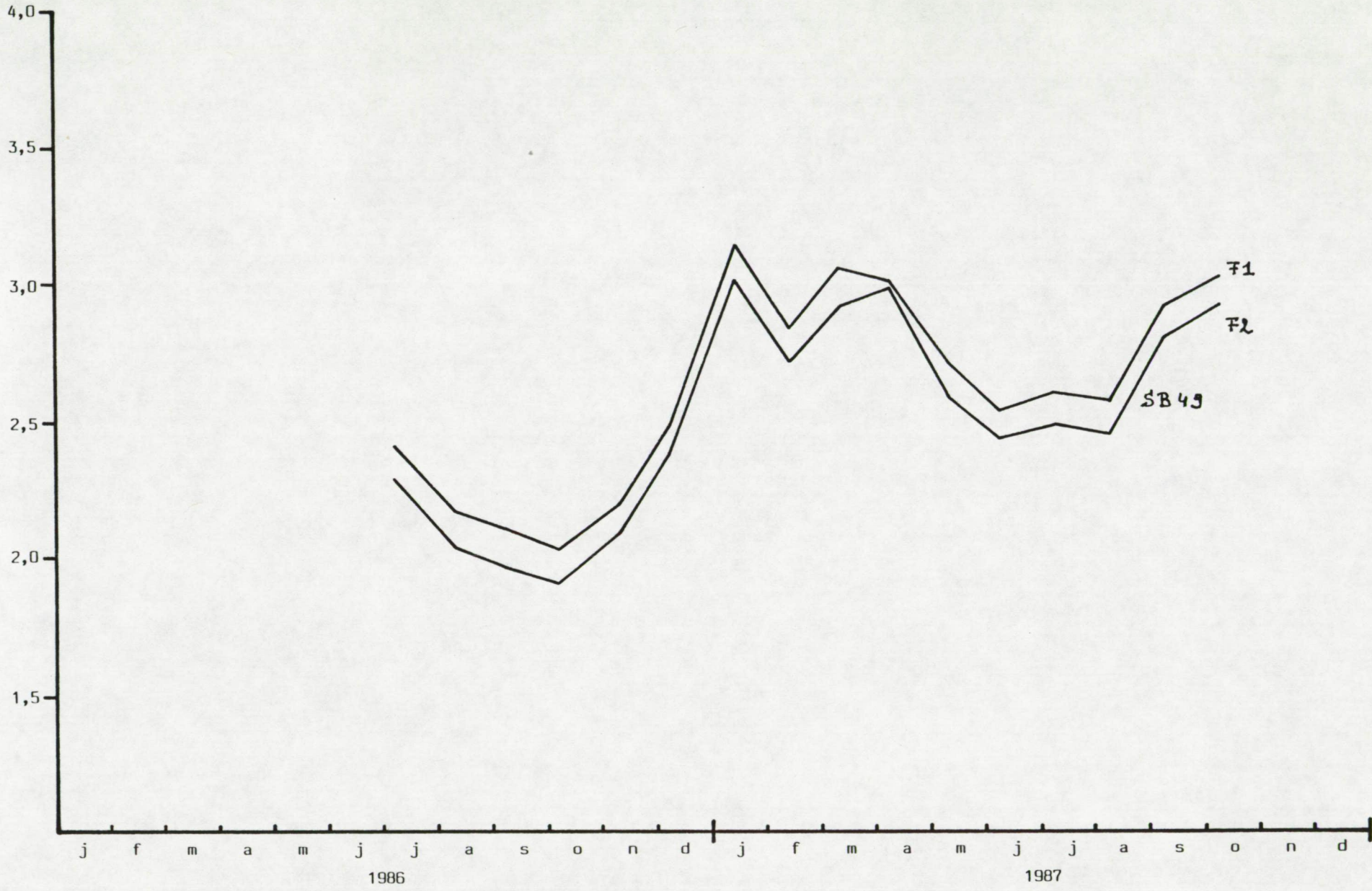
j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

1986

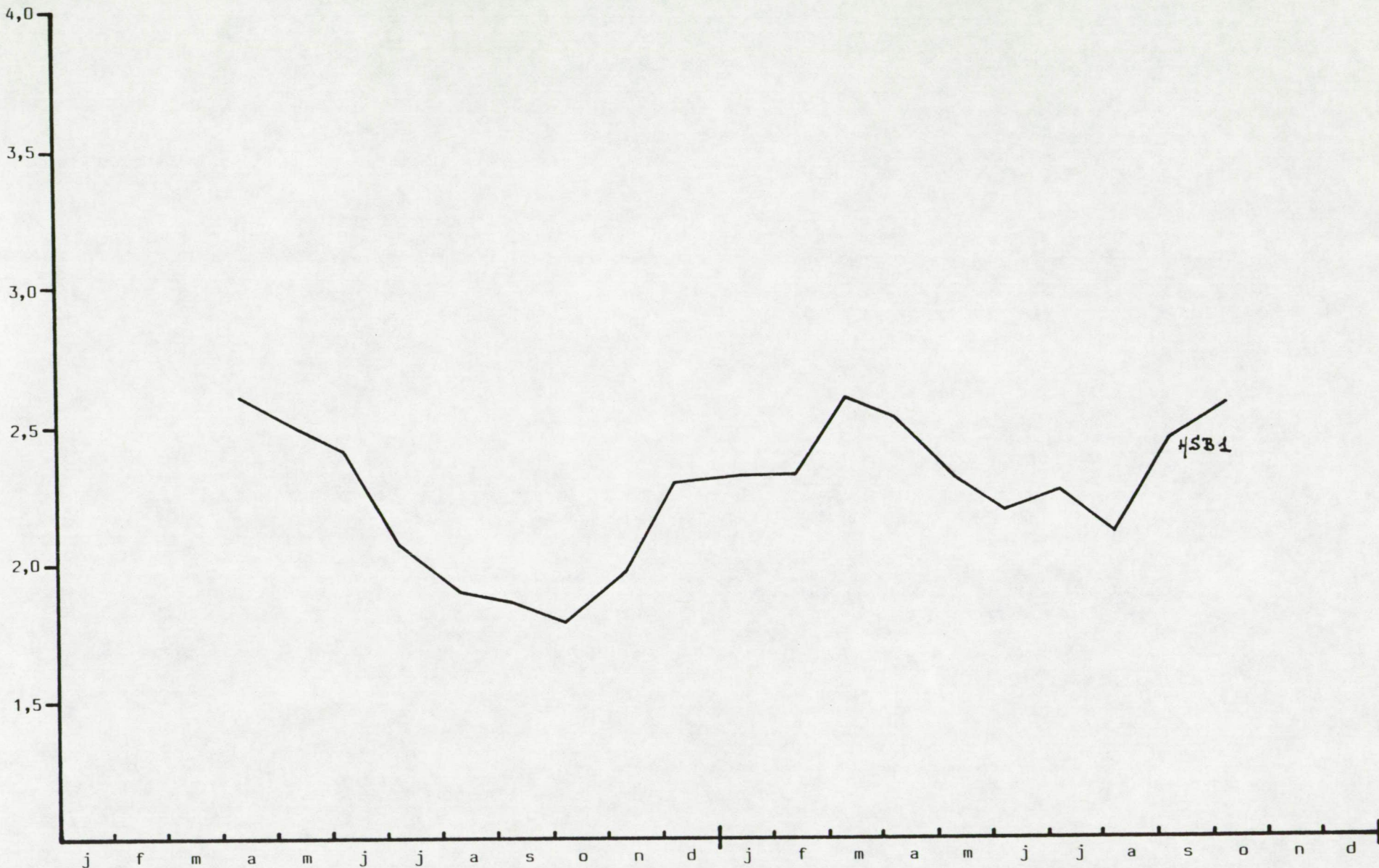
1987



peil (m TAW)



peil (m TAW)

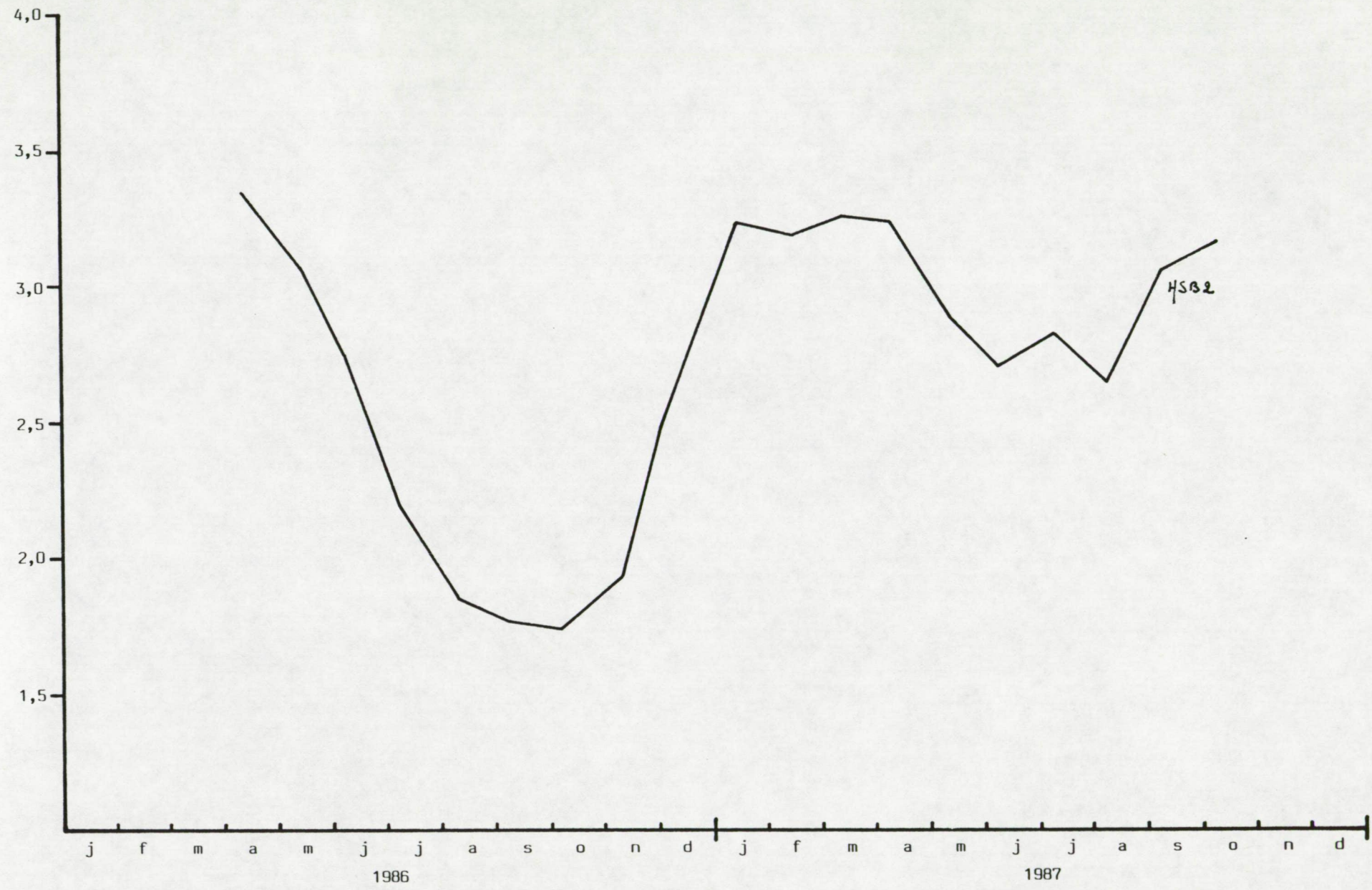


4581

1986

1987

peil (m TAW)



peil (m TAW)

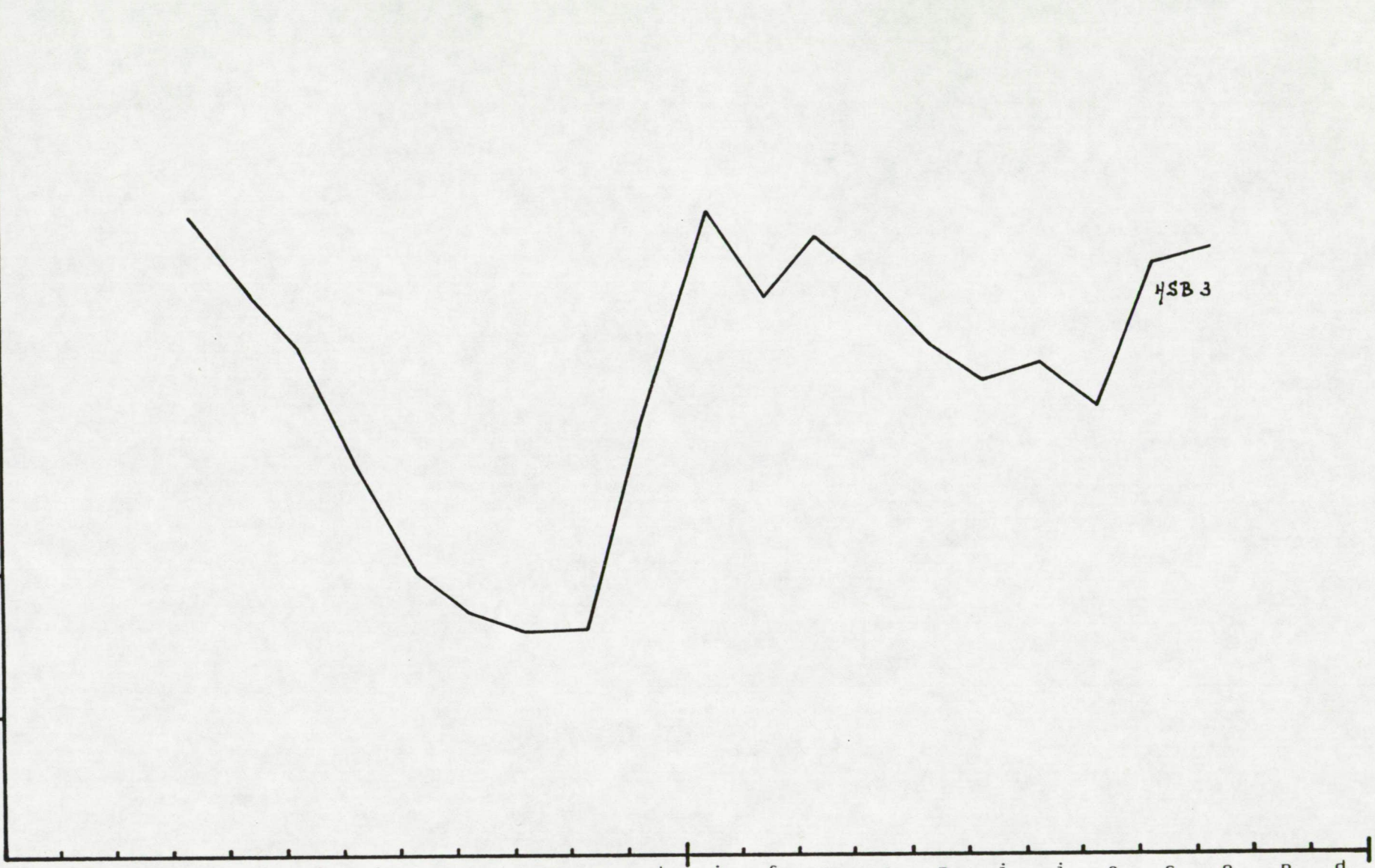
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

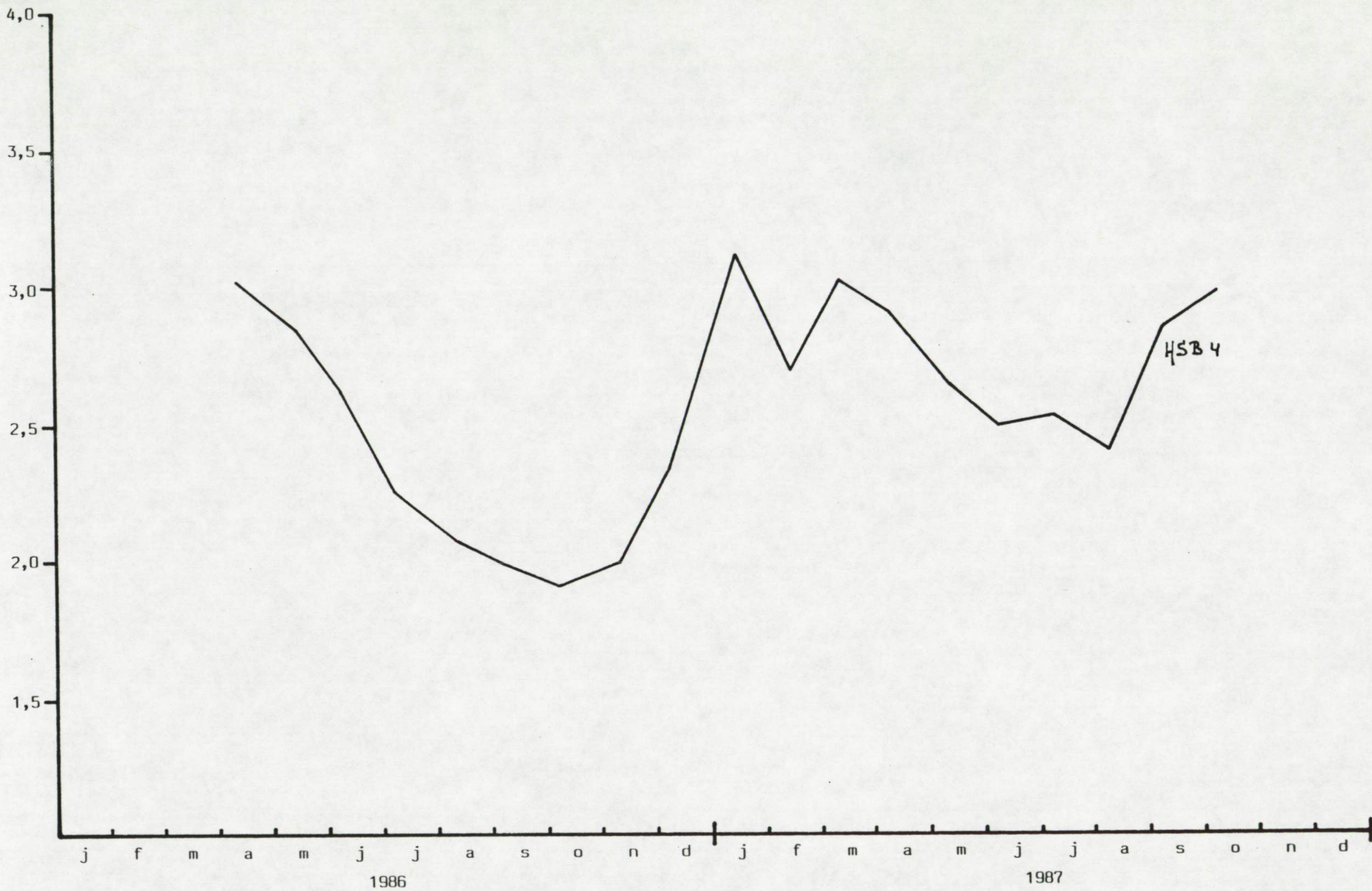
1986

1987

4SB 3



peil (m TAW)



HSB 4

peil (m TAW)

4,0

3,5

3,0

2,5

2,0

1,5

j

f

m

a

m

j

j

a

s

o

n

d

j

f

m

a

m

j

j

a

s

o

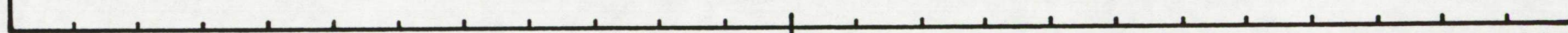
n

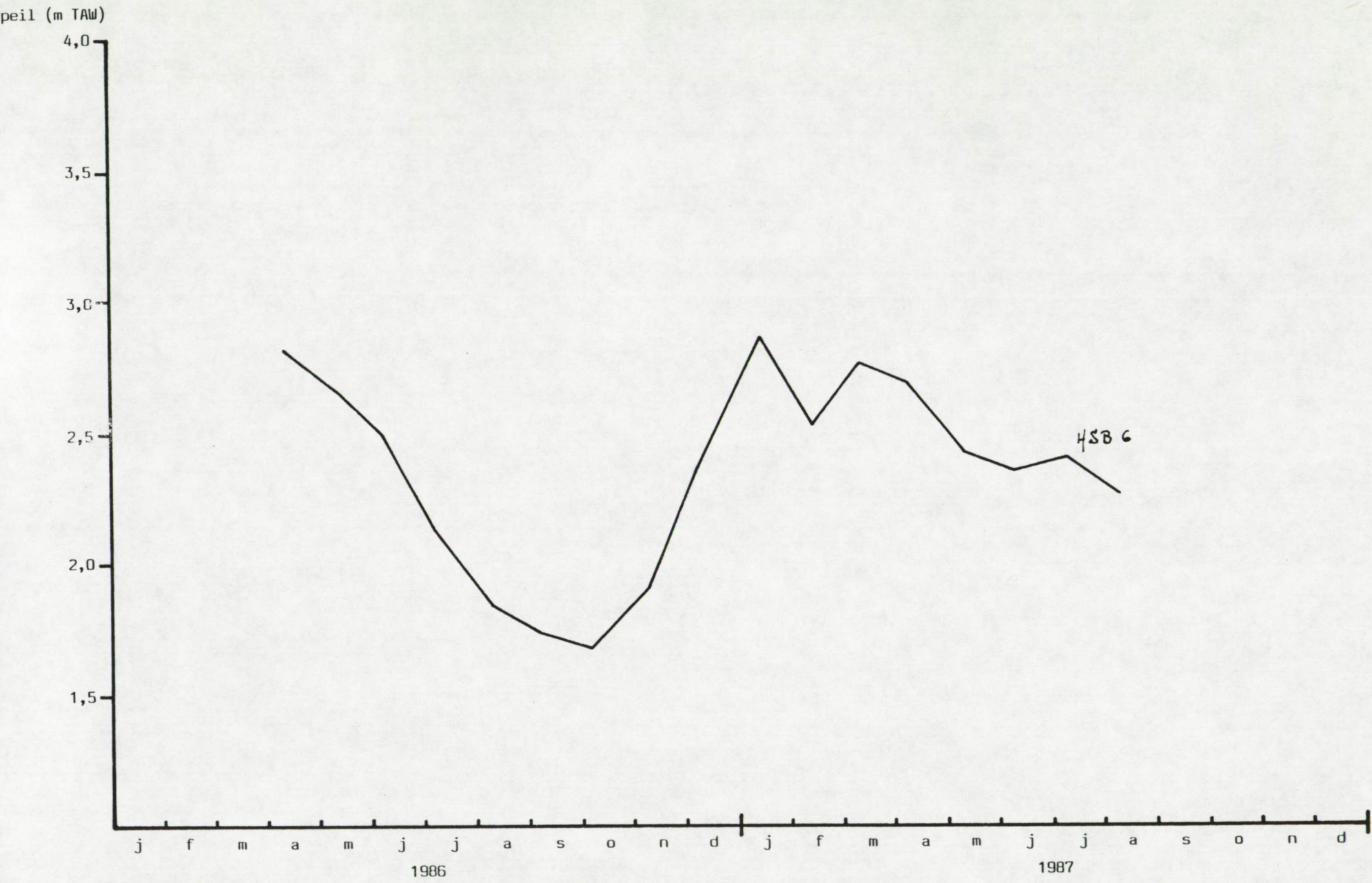
d

1986

1987

HSB 5





peil (m TAW)

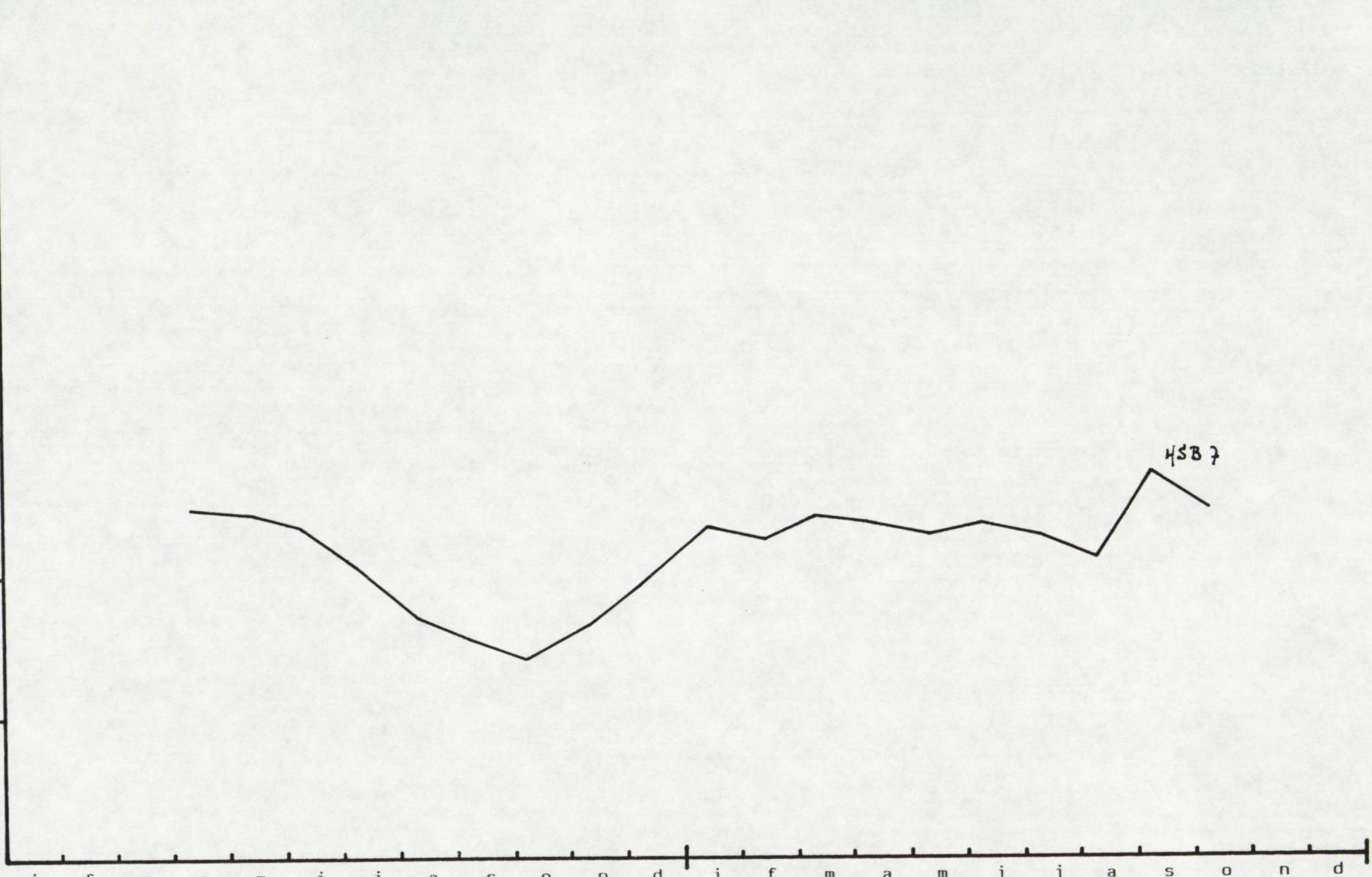
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

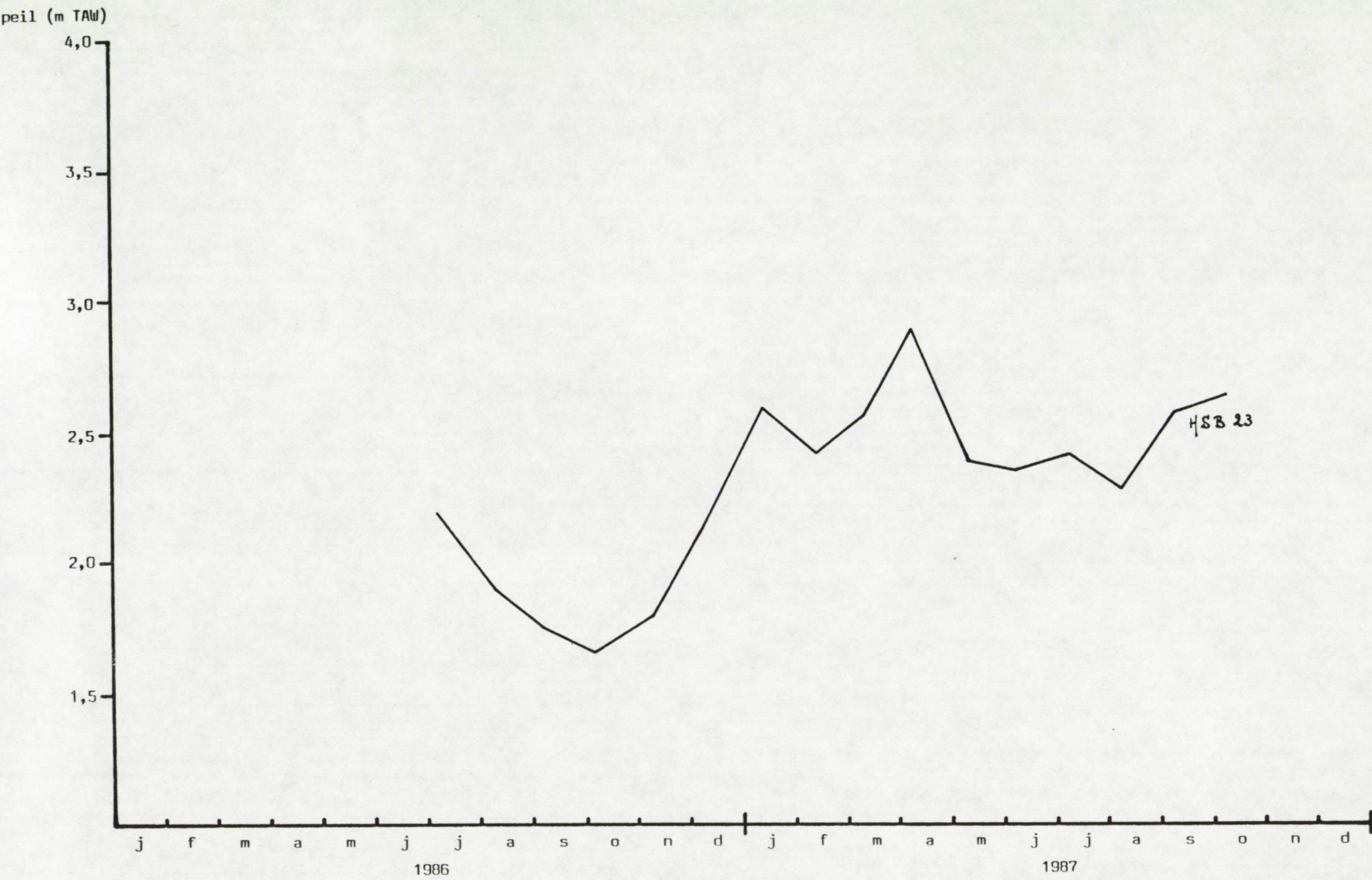
j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

1986

1987

MSB?





peil (m TAW)

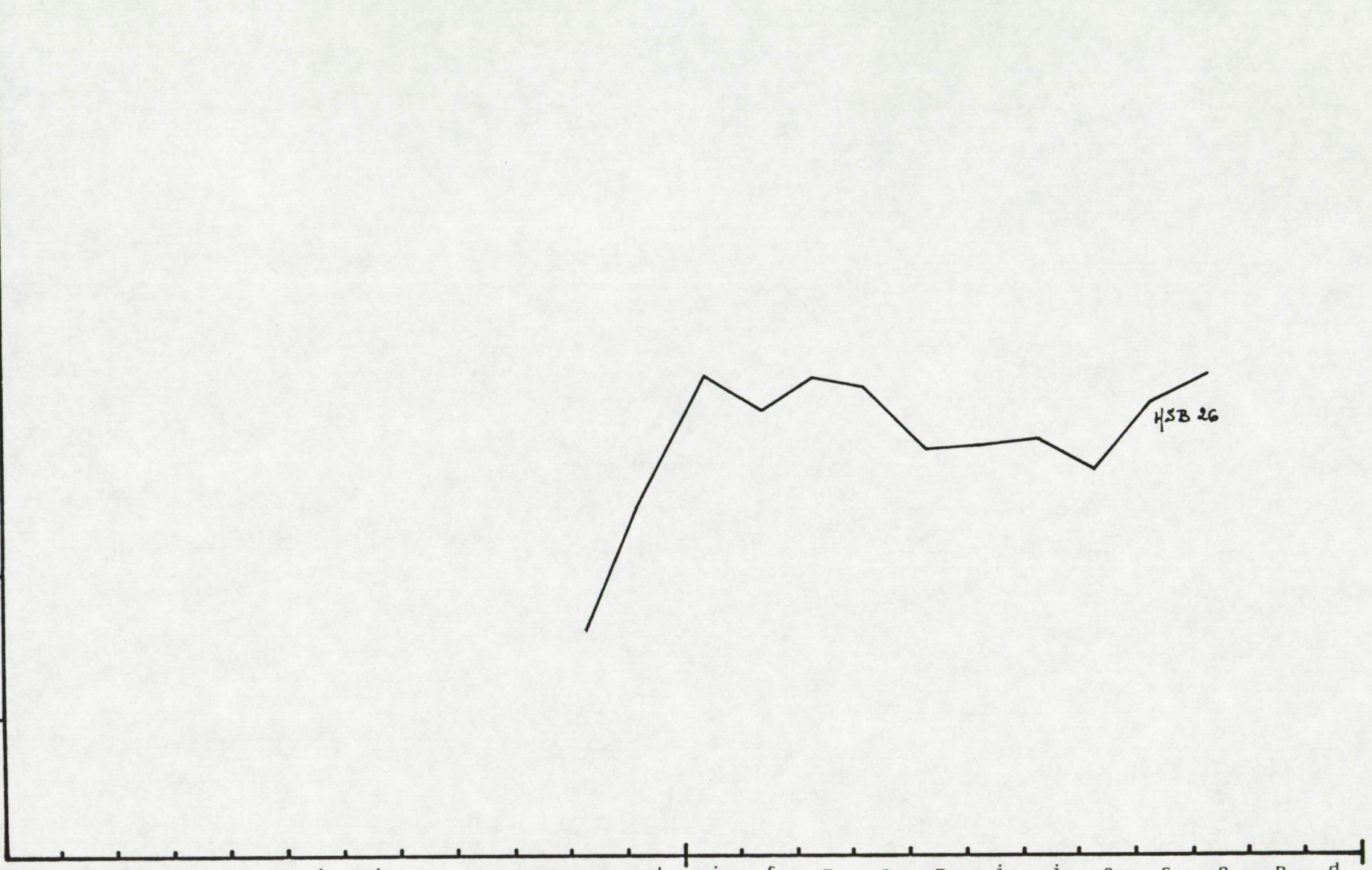
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

1986

1987

HSB 26



peil (m TAW)

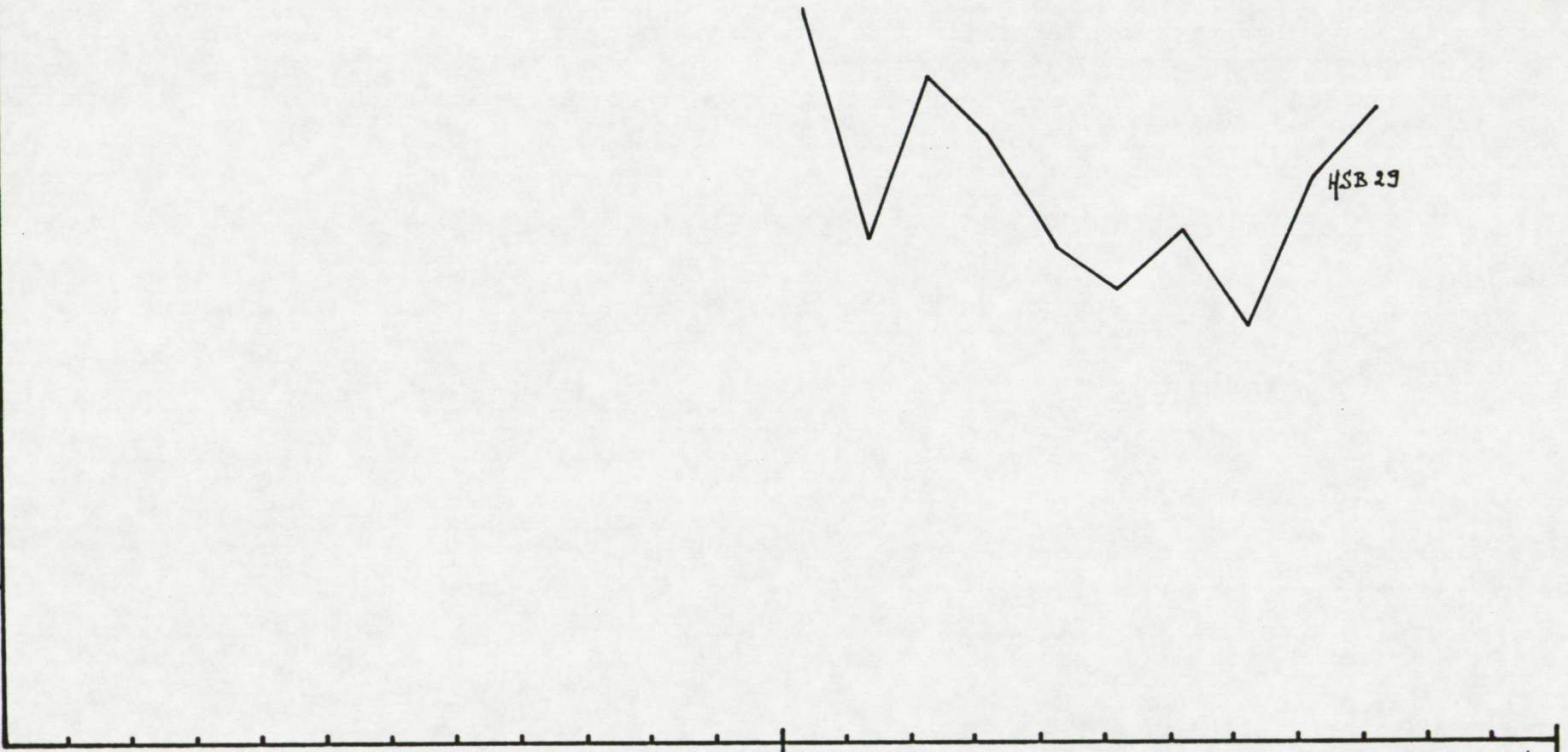
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

1986

1987

HSB 19



peil (m TAW)

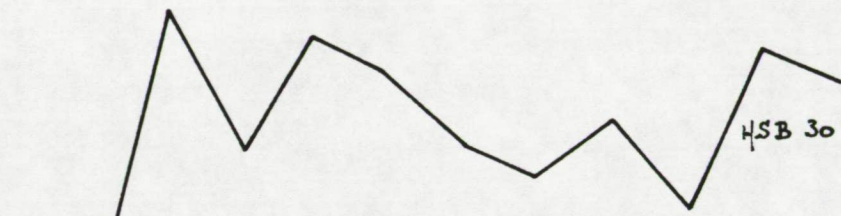
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

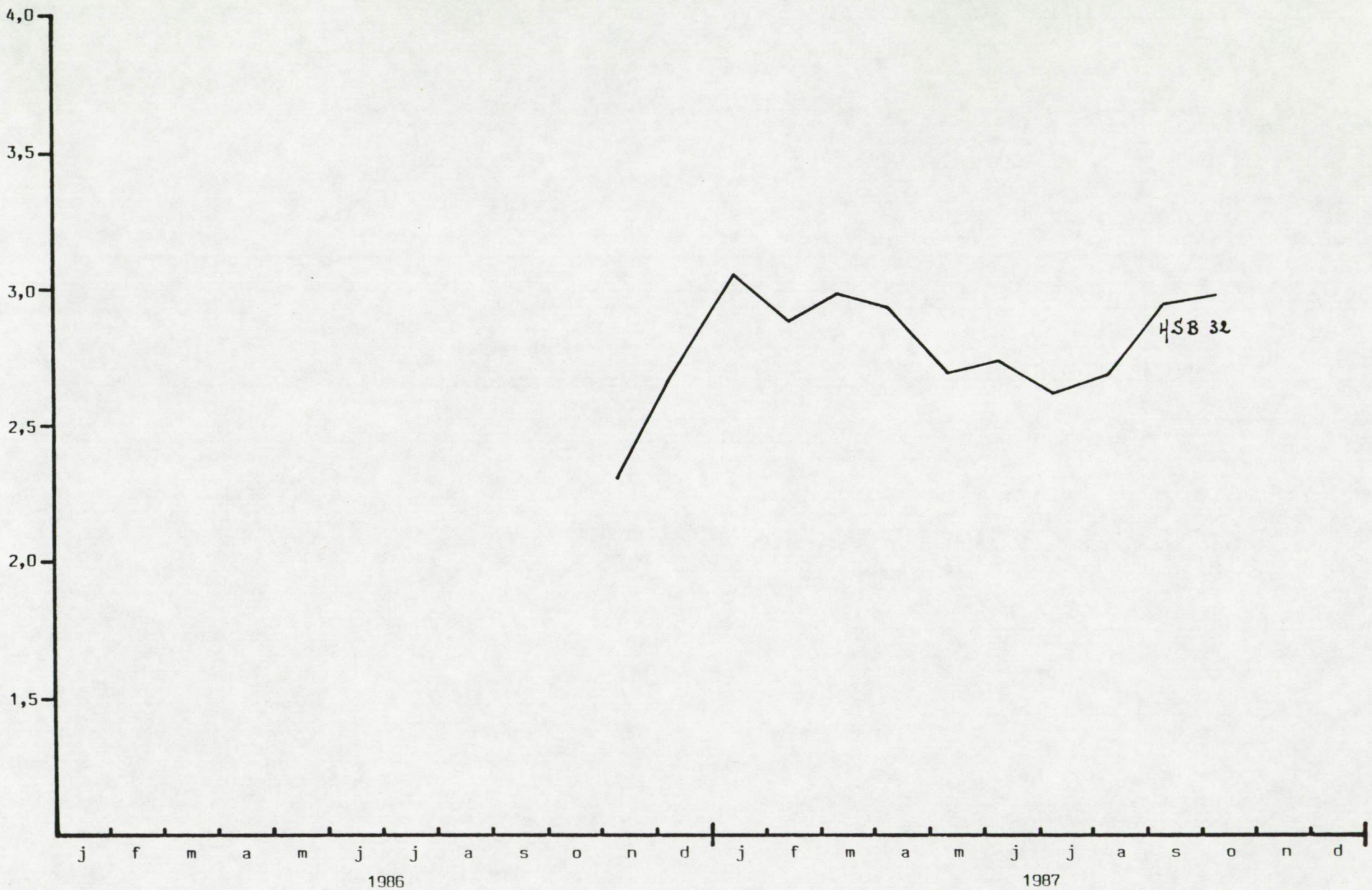
1986

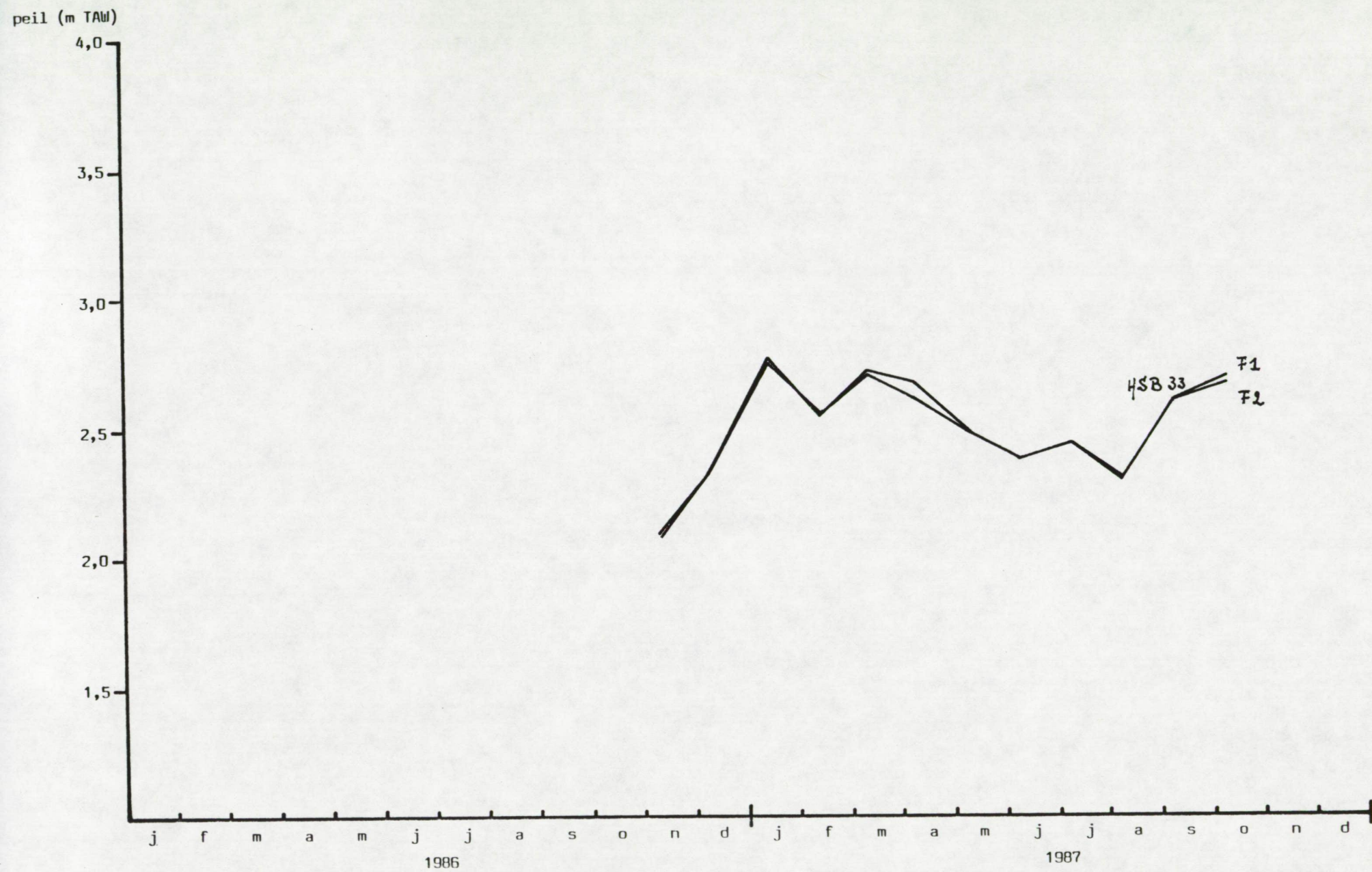
1987

HSB 30

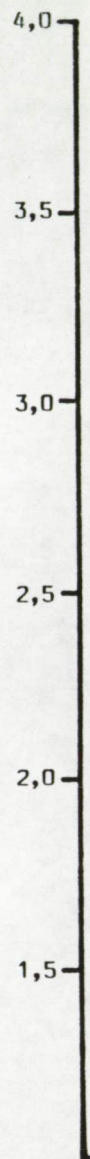


peil (m TAW)

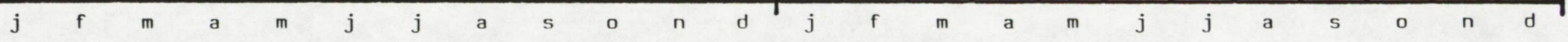




peil (m TAW)

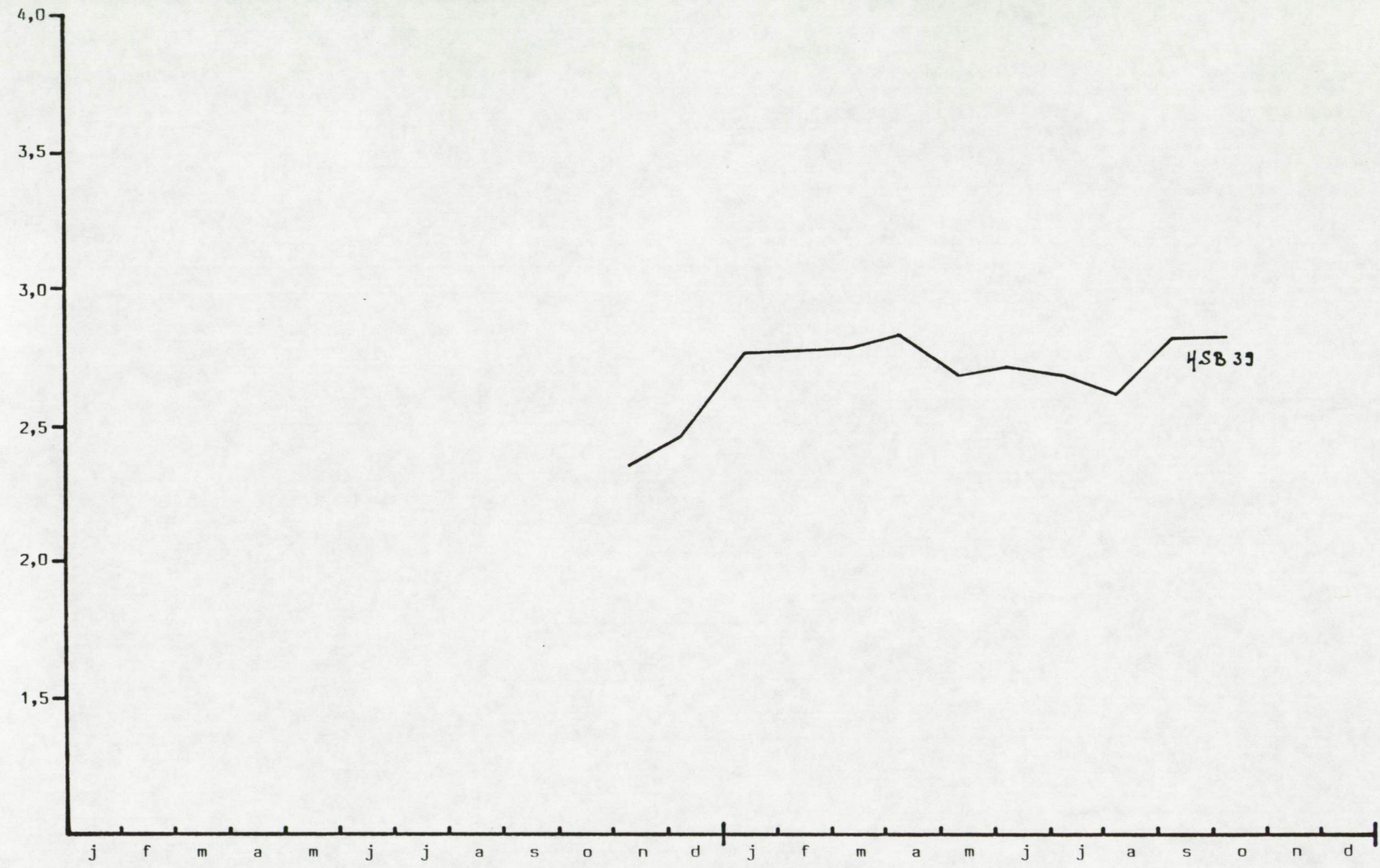


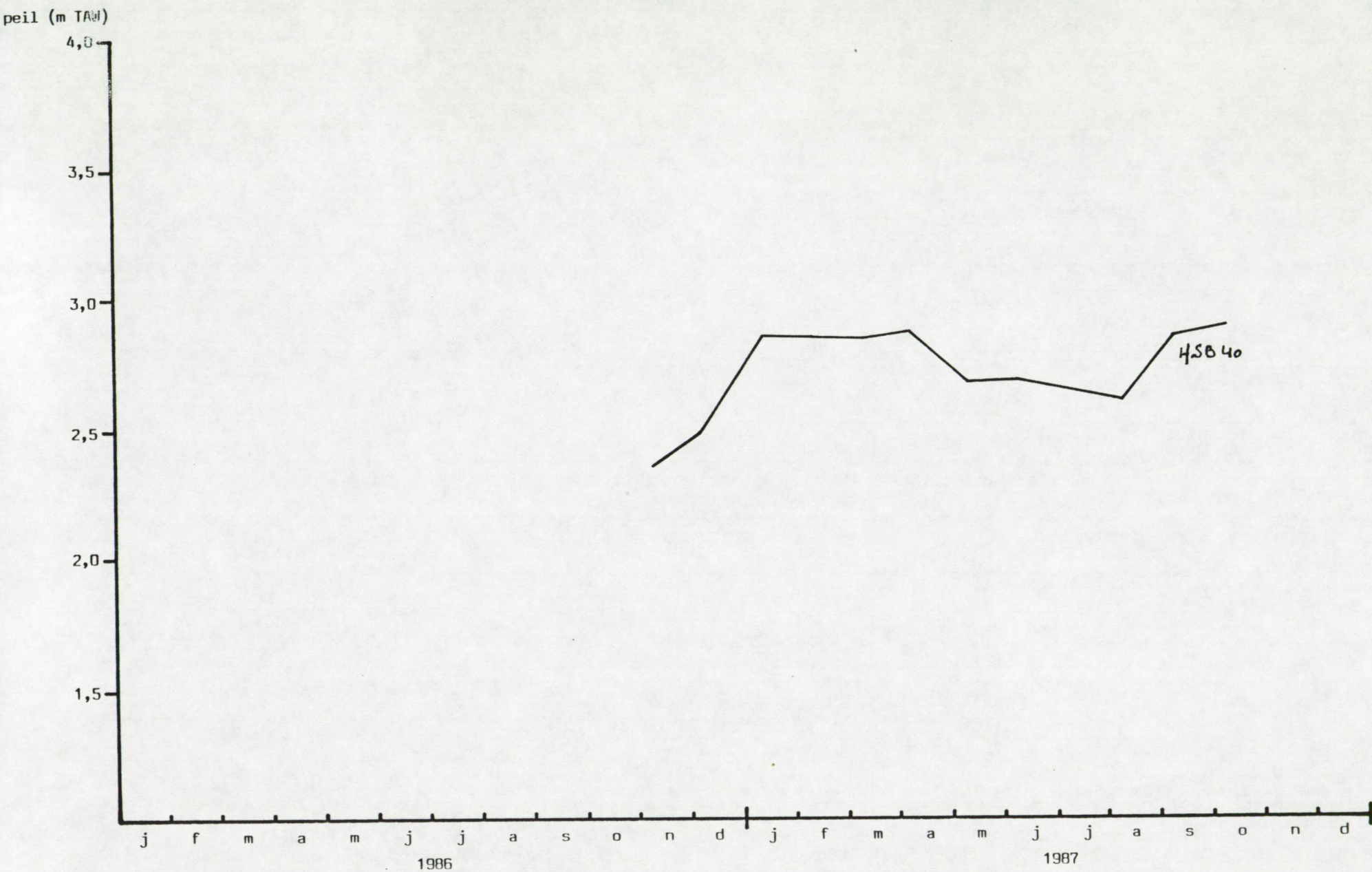
458 39



1986

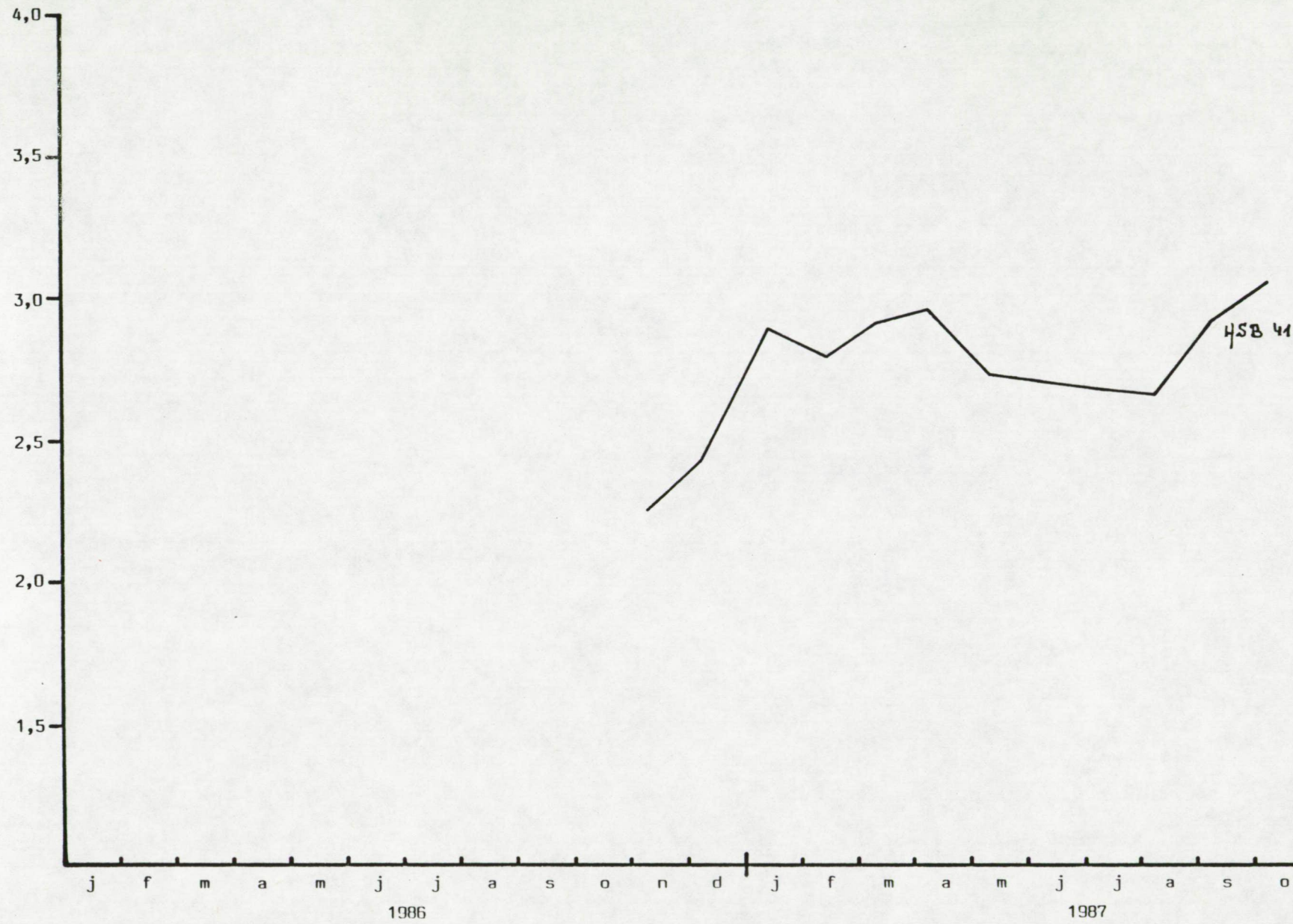
1987

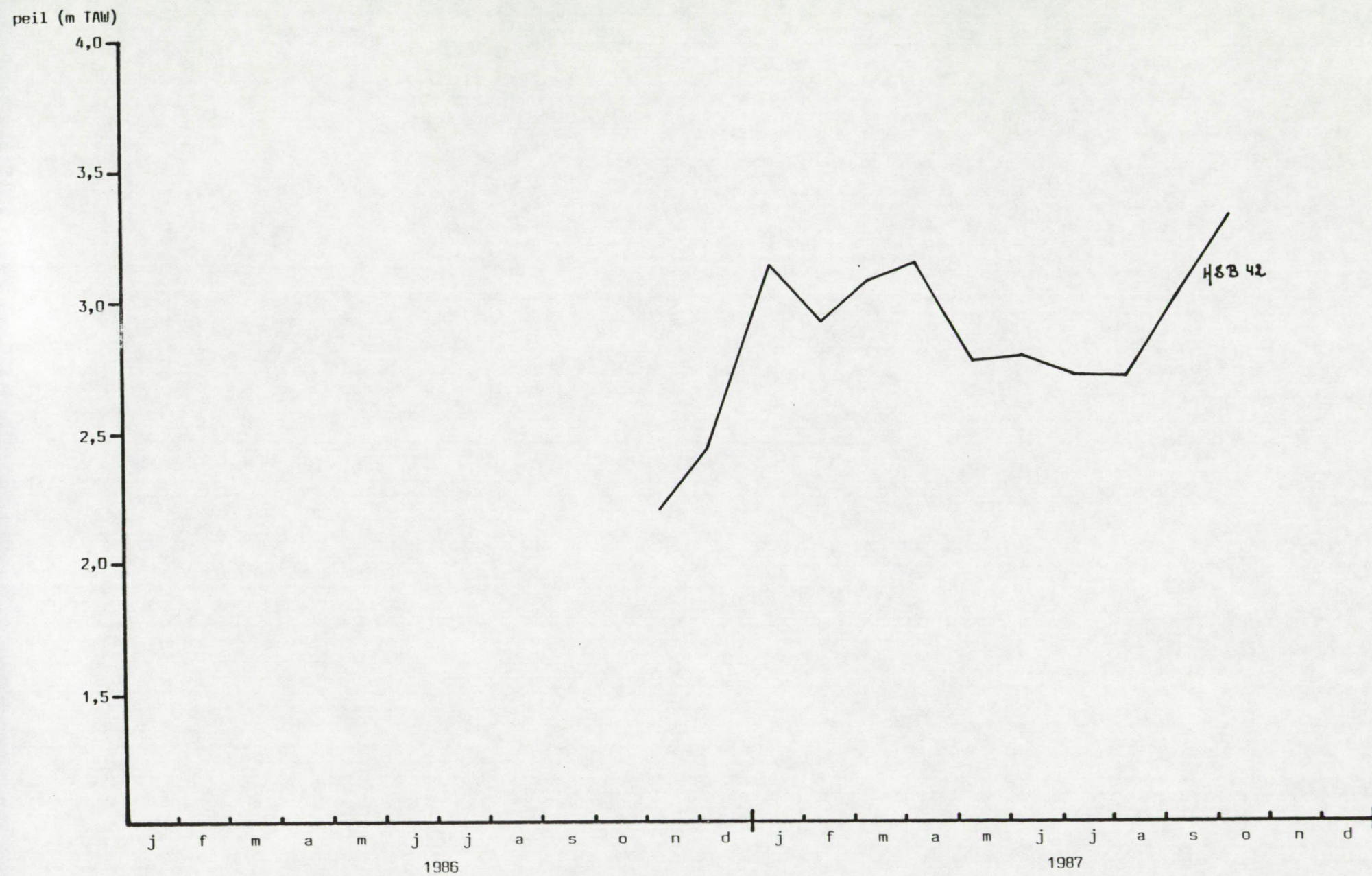




4SB40

peil (m TAW)





peil (m TAW)

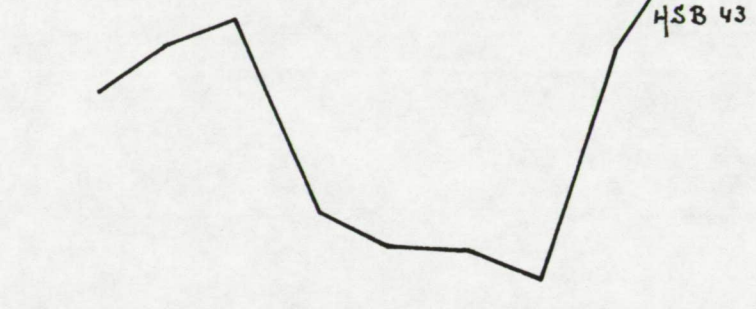
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
1,5

j f m a m j j a s o n d j f m a m j j a s o n d

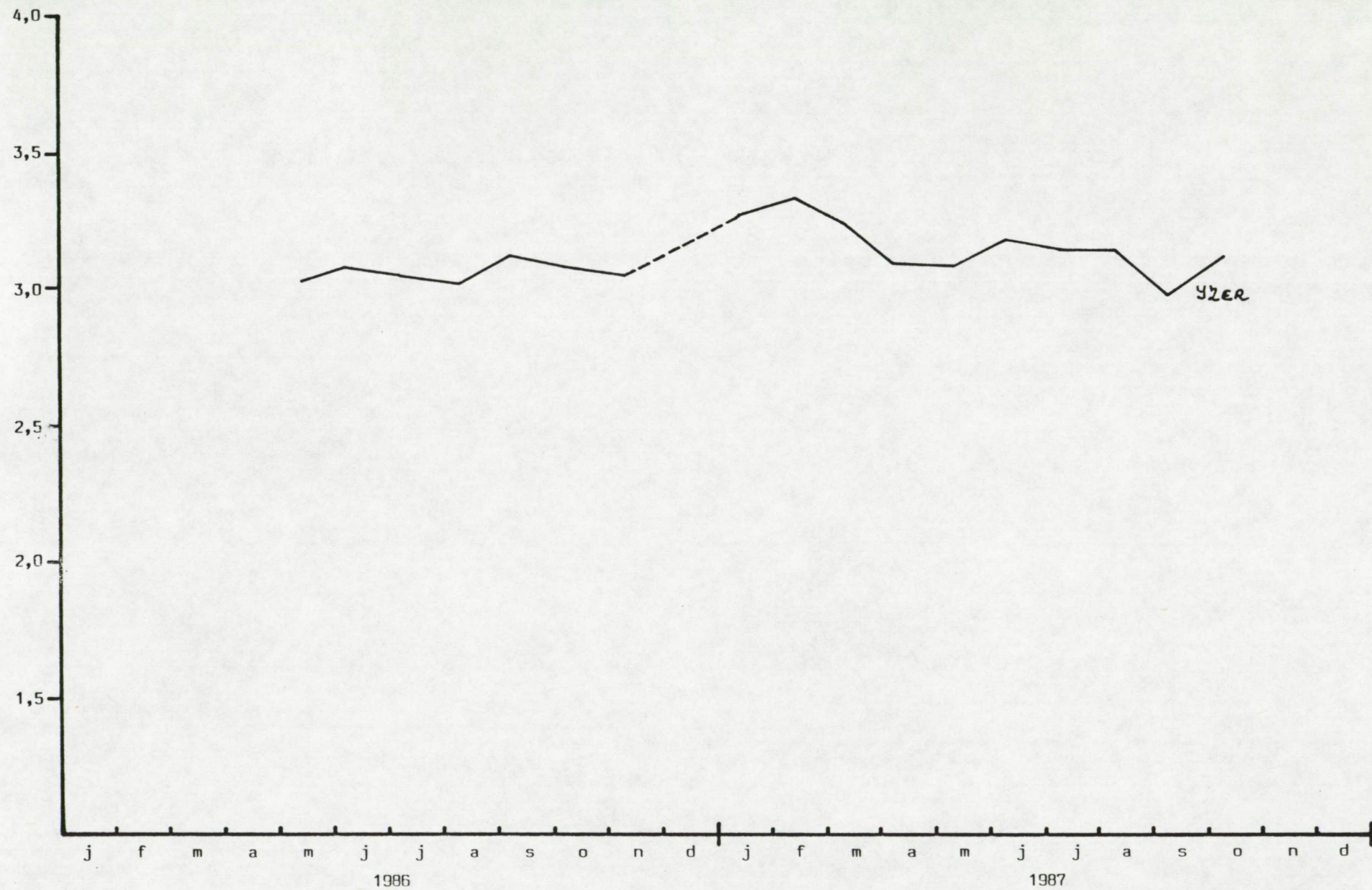
1986

1987

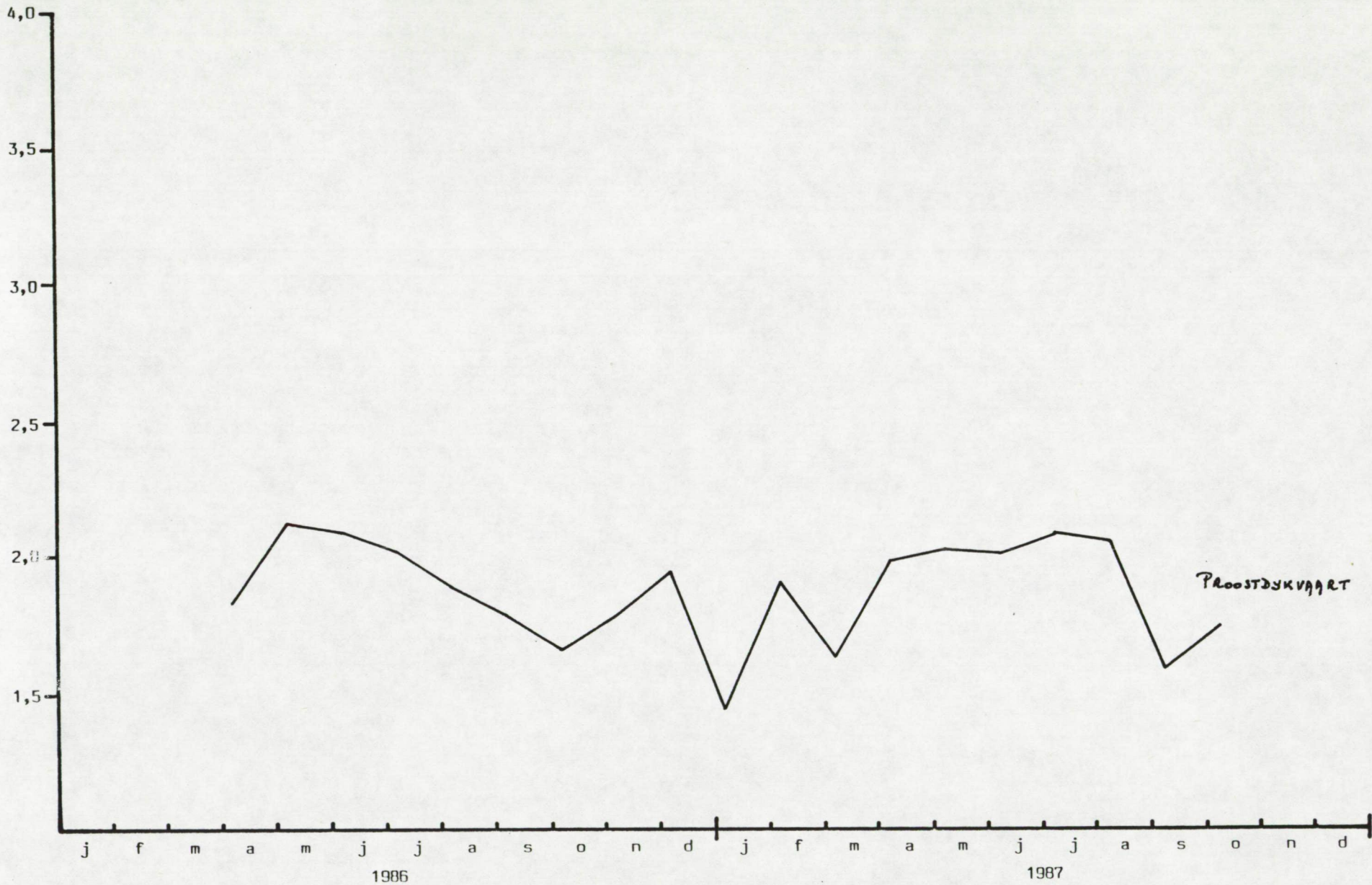
H58 43



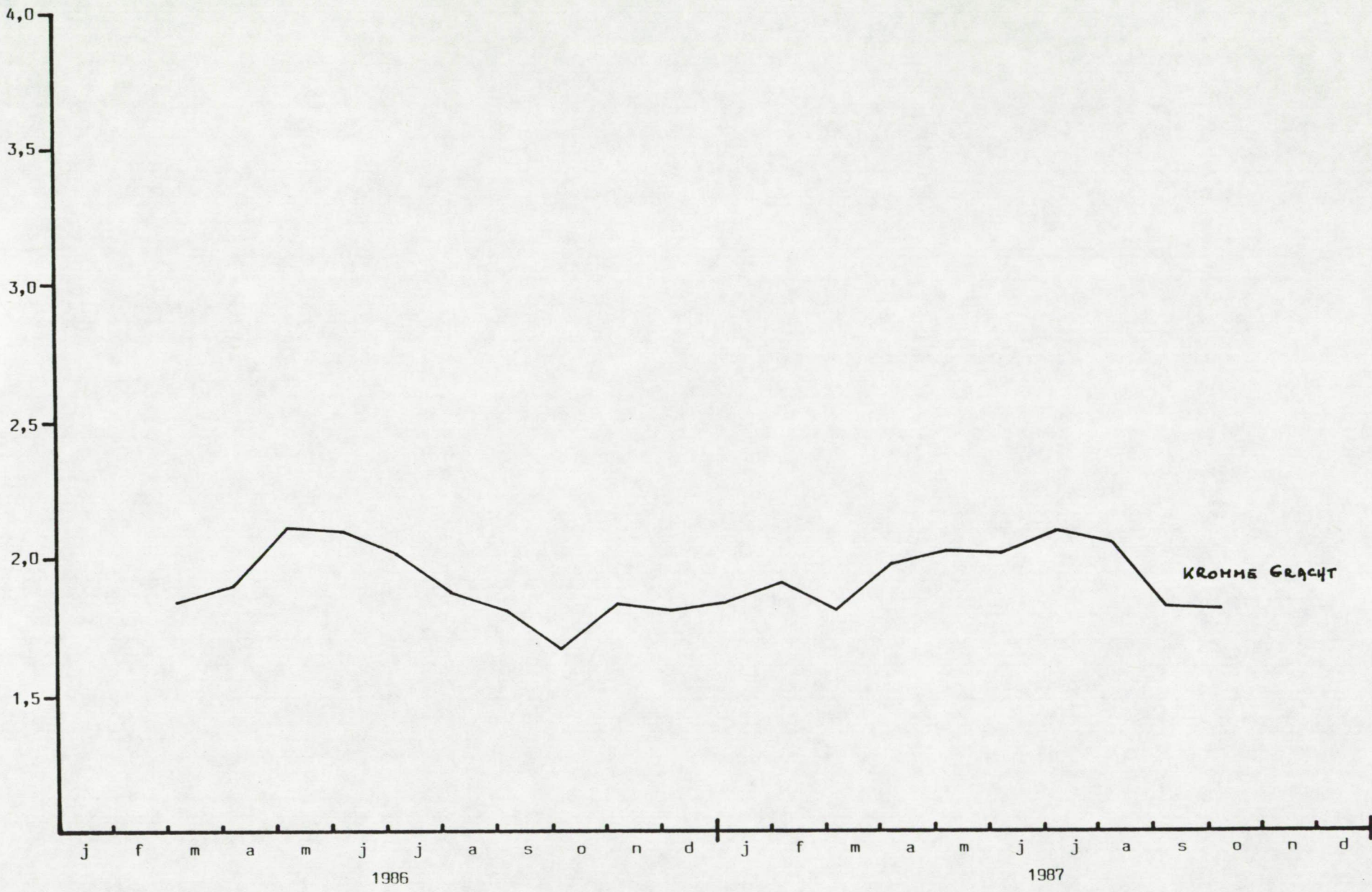
peil (m TAW)



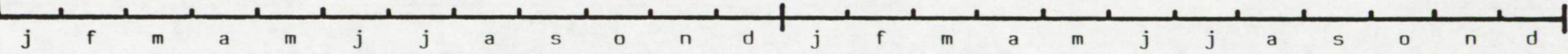
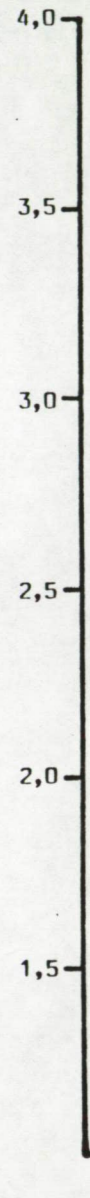
peil (m TAW)



peil (m TAW)



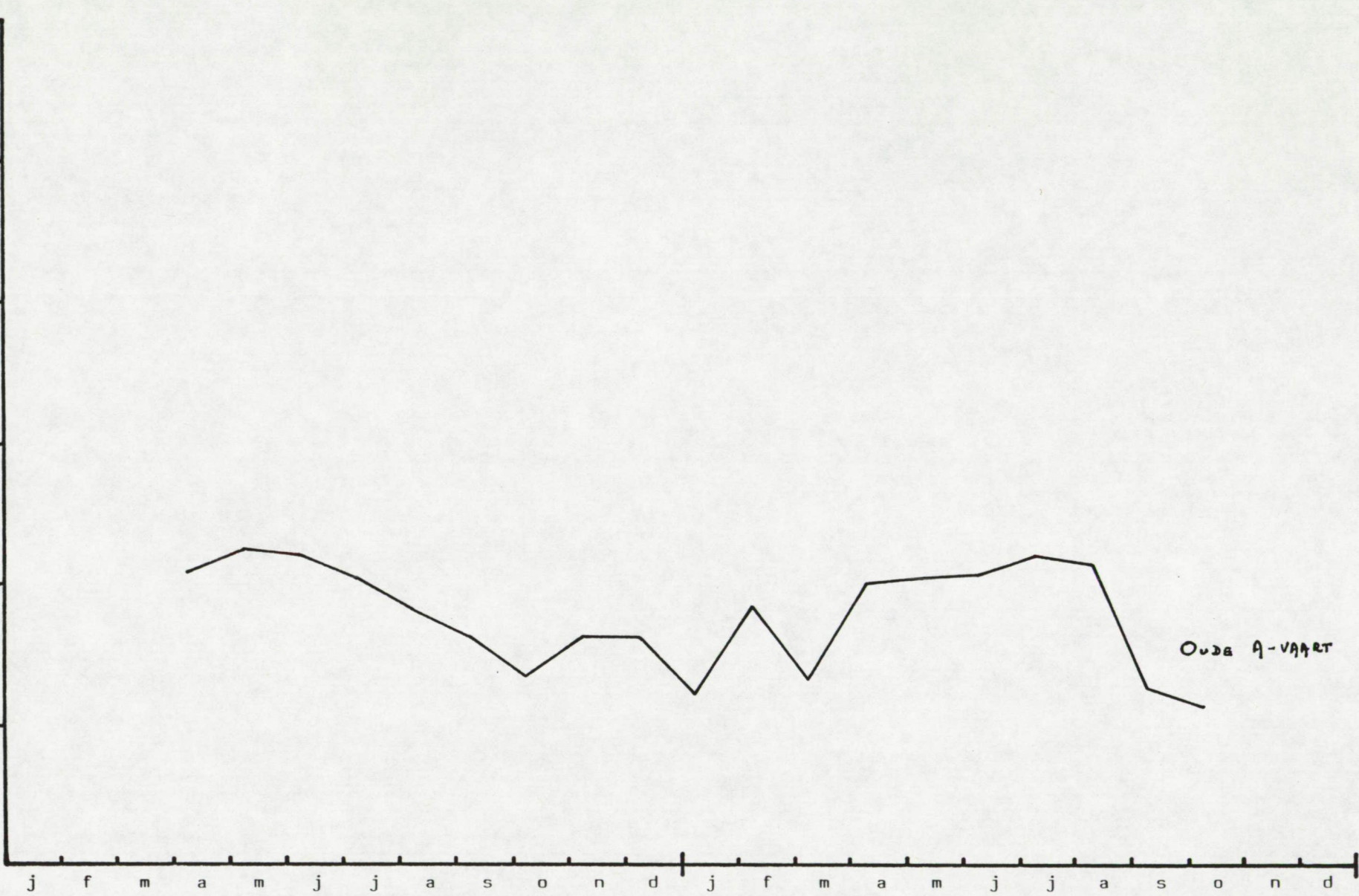
peil (m TAW)

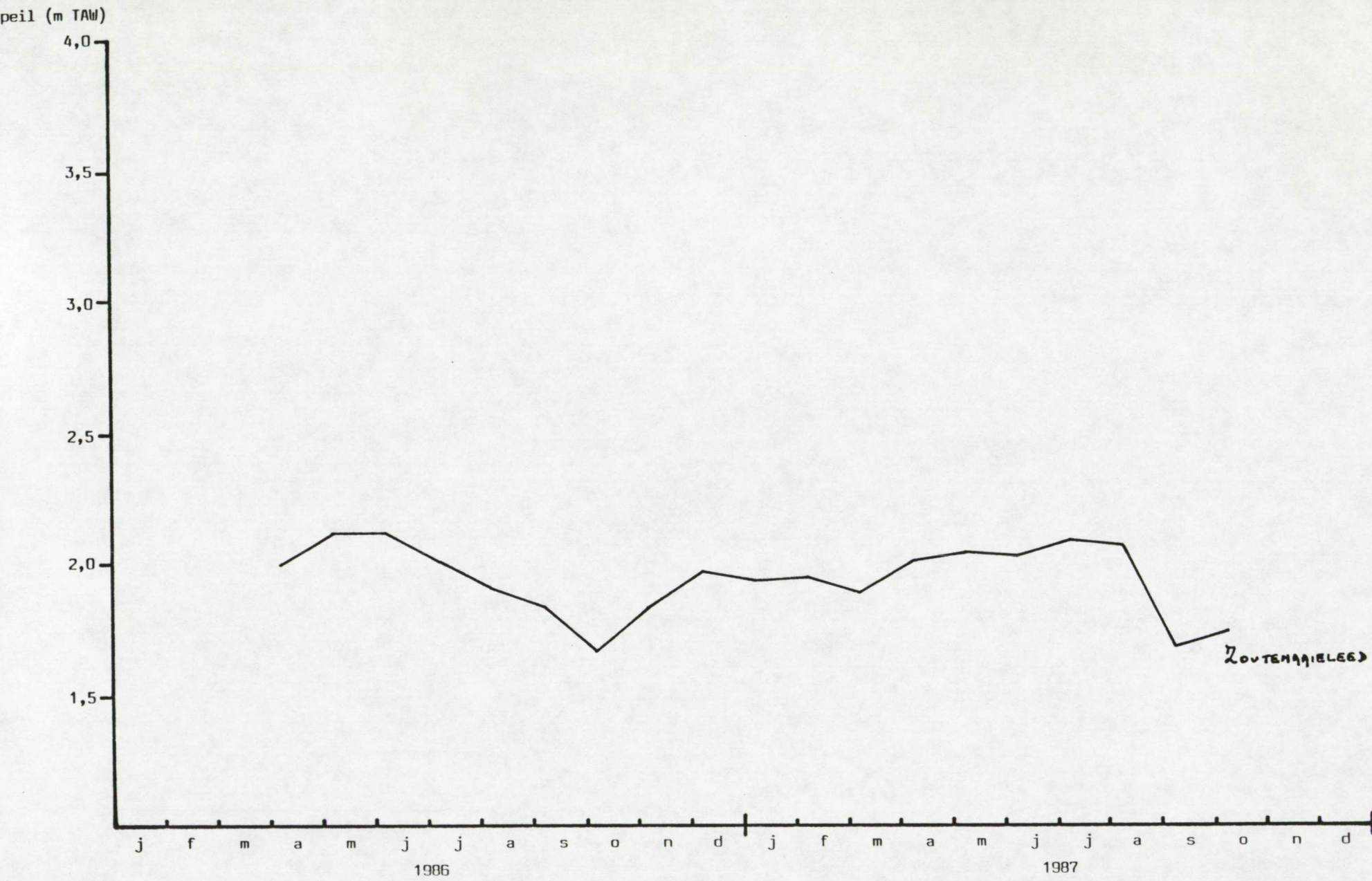


1986

1987

Oude A-vaart





Route HAAIELEED

BIJLAGE 5: Grondwateranalysen

Putnummer	Datum bemonstering	Datum analyse	Temperatuur (°C)	Ph	Geleidbaarheid ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
HSB1	08/04/86	15/04/86	10.00	7.25	848
HSB2	17/03/87	30/03/87	9.60	7.26	937
HSB3	23/02/87	06/03/87	10.30	7.44	938
HSB4	18/03/87	30/03/87	10.20	7.31	833
HSB5	08/04/86	15/04/86	8.90	7.56	1317
HSB23	10/09/86	/ /	10.70	7.16	6830
HSB26	17/03/87	30/03/87	10.80	7.35	6220
HSB29	17/03/87	30/03/87	10.00	7.15	1016
HSB30	18/06/87	30/03/87	9.50	7.43	1112
HSB32	18/03/87	30/03/87	10.00	7.57	1500
HSB33F1	24/02/87	06/03/87	10.20	7.47	1005
HSB39	25/02/87	06/03/87	9.50	7.29	1682
HSB40	19/03/87	30/03/87	9.60	7.77	1359
HSB41	19/03/87	30/03/87	9.60	7.91	1143
HSB42	19/03/87	30/03/87	9.70	7.29	1451
HSB43	19/03/87	30/03/87	9.50	7.06	1508
HSB43	19/03/87	30/03/87	9.50	7.05	1508
SB1F1	17/02/86	28/02/86	10.70	7.60	1155
SB1F2	17/02/86	28/02/86	10.50	7.36	1072
SB2F1	28/01/86	01/02/86	10.80	7.06	2880
SB2F2	28/01/86	01/02/86	9.90	7.11	1327
SB3	28/01/86	01/02/86	10.70	6.82	15120
SB5F1	29/01/86	01/02/86	10.70	6.99	18830
SB5F2	29/01/86	01/02/86	9.30	7.10	1460
SB6F2	18/02/86	28/02/86	10.40	7.30	1160
SB7F1	18/02/86	28/02/86	10.50	7.35	1980
SB7F2	18/02/86	28/02/86	10.40	8.21	1010
SB8F1	17/02/86	28/02/86	10.70	7.03	24100
SB8F2	17/02/86	28/02/86	10.70	7.18	1640
SB8PB1	25/02/87	06/03/87	10.00	7.41	9740
SB8PB5	25/02/87	06/03/87	8.50	7.26	1543
SB9	18/02/86	28/02/86	10.00	7.26	2260
SB10F1	19/02/86	28/02/86	11.80	7.06	3870
SB10F2	19/02/86	28/02/86	10.60	7.11	1035
SB11	19/02/86	28/02/86	10.70	7.08	5440
SB12F1	19/02/86	28/02/86	10.70	6.91	7810
SB12F2	10/03/86	/ /	9.60	7.04	1984
SB13	18/03/87	30/03/87	10.80	6.91	10960
SB14	10/03/86	/ /	10.70	7.56	13410
SB16	10/03/86	/ /	11.00	6.72	22700
SB17	10/03/86	/ /	10.90	6.79	20800
SB18	29/01/86	01/02/86	10.70	7.35	935
SB21	28/01/86	01/02/86	10.70	7.49	1558
SB22F1	27/01/86	01/02/86	9.70	7.23	1911
SB22F2	27/01/86	01/02/86	7.90	7.43	853
SB23	27/01/86	01/02/86	10.20	7.62	3880
SB24	27/01/86	01/02/86	10.70	6.86	2600
SB26F1	12/03/86	/ /	10.70	7.35	22100
SB26F2	01/10/86	10/10/86	10.80	6.99	970
SB27F1	12/03/86	/ /	10.90	7.69	12470
SB27F2	07/04/86	15/04/86	8.30	7.45	818
SB28F1	12/03/86	/ /	10.90	7.29	26500
SB28F2	07/04/86	15/04/86	9.40	7.20	830
SB29F1	12/03/86	/ /	10.70	7.57	5080
SB29F2	07/04/86	15/04/86	8.20	7.37	916
SB30F1	01/10/86	10/10/86	10.20	7.72	1198
SB30F2	01/10/86	10/10/86	11.40	7.29	685
SB31F1	13/03/86	/ /	11.00	7.41	6620
SB31F2	08/04/86	15/04/86	9.70	7.20	952
SB32F1	13/03/86	/ /	10.90	7.40	2140

Putnummer	Datum bemonstering	Datum analyse	Temperatuur (°C)	Ph	Geleidbaarheid ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
SB32F2	08/04/86	15/04/86	9.40	7.14	974
SB33F1	13/03/86	/ /	11.10	7.57	14660
SB33F2	08/04/86	15/04/86	8.90	7.38	696
SB34F1	13/03/86	/ /	10.90	8.05	3240
SB34F2	07/04/86	15/04/86	9.60	7.24	992
SB35F1	12/09/86	/ /	12.10	7.09	21600
SB35F2	12/09/86	/ /	11.20	7.42	1127
SB36	30/09/86	10/10/86	11.60	7.21	932
SB36	25/02/87	06/03/87	8.70	7.25	1008
SB37F1	10/09/86	22/09/86	10.60	7.41	6070
SB38F1	29/09/86	10/10/86	11.00	7.37	29800
SB38F1	24/02/87	06/03/87	10.50	7.40	30500
SB38F2	29/09/86	10/10/86	10.80	7.13	1510
SB39F1	29/09/86	10/10/86	11.30	7.20	36400
SB39F1	24/02/87	06/03/87	10.30	7.24	31300
SB39F2	20/09/86	10/10/86	11.30	7.21	1059
SB40F1	12/09/86	/ /	11.00	7.36	24100
SB40F2	12/09/86	/ /	11.20	7.32	751
SB41F1	11/09/86	/ /	11.80	6.83	23800
SB41F2	11/09/86	/ /	10.20	7.80	957
SB42F1	11/09/86	/ /	12.50	7.15	33000
SB42F2	11/09/86	/ /	10.80	7.24	978
SB42PB1	23/02/87	06/03/87	10.40	7.29	28400
SB42PB7	23/02/87	06/03/87	10.30	7.76	6490
SB42PB8	23/02/87	06/03/87	10.40	7.59	968
SB43F1	10/09/86	/ /	10.40	7.22	28900
SB43F2	10/09/86	/ /	10.90	7.65	3180
SB45	30/09/86	10/10/86	10.40	7.33	6660
SB46	01/10/86	10/10/86	11.60	5.87	1488
SB48	17/03/87	30/03/87	10.80	6.90	40600
SB49F1	30/09/86	10/10/86	10.70	7.20	28200
SB49F1	24/02/87	06/03/87	10.50	7.17	30200
SB49F2	30/09/86	10/10/86	11.00	7.32	970

Putnummer	Tap (°F)	Tam (°F)	Droogrest (mg/l)	Asrest (mg/l)	Totale hardh. (°F)	Tijdel. Hardh. (°F)
HSB1	0.00	37.05	757	490	55.52	37.03
HSB2	0.00	60.20	724	434	59.88	55.99
HSB3	0.00	51.50	822	573	59.25	49.12
HSB4	0.00	38.10	677	434	49.46	36.33
HSB5	0.00	51.85	1045	794	37.17	34.91
HSB23	0.00	118.70	5828	4832	160.83	84.94
HSB26	0.00	105.60	4099	3806	67.44	43.92
HSB29	0.00	39.20	880	622	64.92	42.36
HSB30	0.00	46.40	877	623	63.74	46.04
HSB32	0.00	59.30	1108	1010	31.65	29.85
HSB33F1	0.00	38.20	877	608	55.08	37.00
HSB39	0.00	48.40	1505	1121	87.91	48.99
HSB40	0.00	34.80	1220	959	74.11	32.68
HSB41	0.00	32.90	919	681	64.43	31.25
HSB42	0.00	44.60	1486	1169	103.11	32.48
HSB43	0.00	62.80	1347	864	88.68	55.33
HSB43	0.00	62.80	1347	864	88.68	55.33
SB1F1	0.00	62.40	857	684	25.39	23.82
SB1F2	0.00	33.10	863	654	57.80	29.32
SB2F1	0.00	97.80	1936	1502	74.14	67.09
SB2F2	0.00	56.70	1064	748	77.34	55.89
SB3	0.00	303.10	10995	9326	292.70	226.14
SB5F1	0.00	240.50	14178	12154	295.07	173.57
SB5F2	0.00	60.50	1024	719	65.49	54.39
SB6F2	0.00	38.15	937	652	67.09	37.28
SB7F1	0.00	57.50	1232	990	48.43	41.11
SB7F2	1.05	52.35	668	484	45.51	40.59
SB8F1	0.00	235.00	20030	17117	449.61	206.16
SB8F2	0.00	56.55	1437	1107	99.96	54.10
SB8PB1	0.00	132.70	6904	6214	134.99	90.41
SB8PB5	0.00	42.70	1492	1146	99.51	42.26
SB9	0.00	71.50	1618	1251	78.03	61.31
SB10F1	0.00	79.60	2499	2173	50.87	46.78
SB10F2	0.00	37.97	717	510	48.27	32.69
SB11	0.00	104.95	3544	3107	65.98	61.69
SB12F1	0.00	104.55	5072	4560	100.51	84.11
SB12F2	0.00	88.95	1506	1194	82.67	77.33
SB13	0.00	100.10	9045	7775	184.27	78.02
SB14	0.00	295.00	10024	8627	275.83	199.83
SB16	0.00	182.30	19538	16107	468.39	201.36
SB17	0.00	123.80	16947	13748	397.56	121.28
SB18	0.00	0.00	713	483	51.55	38.72
SB21	0.00	58.15	1068	813	32.63	29.85
SB22F1	0.00	66.80	1233	900	64.43	56.93
SB22F2	0.00	42.15	619	374	49.85	39.99
SB23	0.00	123.70	2599	1997	100.73	94.80
SB24	0.00	110.30	1793	1262	91.72	82.34
SB26F1	0.00	174.60	22929	19513	434.26	182.43
SB26F2	0.00	48.90	792	581	47.19	42.86
SB27F1	0.00	123.95	8874	8036	140.08	103.52
SB27F2	0.00	45.75	735	486	47.61	41.83
SB28F1	0.00	248.70	24146	20493	456.16	231.44
SB28F2	0.00	45.65	855	575	59.88	43.89
SB29F1	0.00	90.20	3517	3191	75.21	55.08
SB29F2	0.00	54.10	849	558	55.04	49.73
SB30F1	0.00	42.50	874	669	31.85	29.49
SB30F2	0.00	25.60	633	351	41.14	25.09
SB31F1	0.00	98.50	4691	4149	109.03	83.58
SB31F2	0.00	37.65	970	711	71.08	51.84

Putnummer	Tap (°F)	Tam (°F)	Droogrest (mg/l)	Asrest (mg/l)	Totale hardh. (°F)	Tijdel. Hardh. (°F)
SB32F1	0.00	44.30	1275	1041	46.92	40.76
SB32F2	0.00	60.40	864	528	66.79	57.60
SB33F1	0.00	125.40	12545	11236	210.40	121.46
SB33F2	0.00	33.35	625	400	36.37	27.66
SB34F1	0.00	58.60	2426	2152	21.23	17.53
SB34F2	0.00	40.60	959	617	58.77	40.48
SB35F1	0.00	240.80	19544	15903	381.54	202.23
SB35F2	0.00	44.85	1277	819	75.29	44.50
SB36	0.00	41.20	876	562	61.15	38.30
SB36	0.00	40.60	856	599	62.50	39.21
SB37F1	0.00	141.10	5058	4430	78.16	60.86
SB38F1	0.00	171.10	26548	22768	482.33	157.89
SB38F1	0.00	167.60	26436	22981	505.40	190.00
SB38F2	0.00	62.40	1474	1087	85.46	62.22
SB39F1	0.00	135.60	33538	28593	593.43	166.55
SB39F1	0.00	131.90	32866	28519	602.49	133.76
SB39F2	0.00	40.80	938	676	49.66	39.71
SB40F1	0.00	148.40	21556	18497	442.99	155.20
SB40F2	0.00	38.45	759	472	49.25	37.06
SB41F1	0.00	325.20	21753	18575	390.20	242.55
SB41F2	0.00	56.90	957	615	63.98	53.44
SB42F1	0.00	258.60	32082	26767	577.34	227.77
SB42F2	0.00	54.20	1041	700	67.83	52.81
SB42PB1	0.00	221.80	28204	24864	515.94	228.66
SB42PB7	0.00	120.10	5106	4618	45.62	42.45
SB42PB8	0.00	39.60	930	664	58.62	40.66
SB43F1	0.00	169.60	28409	24161	573.42	154.44
SB43F2	0.00	106.85	3231	2610	101.41	73.65
SB45	0.00	108.40	5112	4295	123.48	92.41
SB46	0.00	47.00	1124	885	51.32	43.53
SB48	0.00	163.70	33151	26695	718.98	192.64
SB49F1	0.00	109.90	26049	21657	503.57	108.93
SB49F1	0.00	108.70	25023	21815	511.01	129.98
SB49F2	0.00	37.00	918	607	56.79	36.50

Putnummer	Natrium (mg/l)	Kalium (mg/l)	Calcium (mg/l)	Magnesium (mg/l)	IJzer (mg/l)	Mangaan (mg/l)
HSB1	10.44	10.34	188.97	13.79	3.100	0.310
HSB2	15.30	8.65	176.38	36.48	2.070	0.480
HSB3	18.10	8.16	186.67	22.77	2.000	0.280
HSB4	16.79	7.96	165.35	18.24	2.390	0.300
HSB5	221.63	22.37	86.92	35.42	0.200	0.090
HSB23	1333.33	105.05	191.01	280.34	0.000	0.000
HSB26	1165.62	94.35	57.48	78.60	5.110	0.300
HSB29	16.58	3.93	225.98	19.08	3.040	0.420
HSB30	15.35	9.29	211.02	23.39	1.500	0.190
HSB32	250.25	47.17	77.95	26.69	4.890	0.250
HSB33F1	19.19	12.95	141.67	40.93	0.050	0.090
HSB39	98.58	27.95	270.00	42.60	0.790	0.340
HSB40	84.40	16.46	245.67	29.76	3.450	0.420
HSB41	18.07	4.37	212.60	19.61	4.380	0.310
HSB42	18.20	3.05	384.25	22.68	21.670	0.450
HSB43	35.70	5.28	334.65	22.68	6.070	0.940
HSB43	35.70	5.28	334.65	22.68	6.070	0.940
SB1F1	193.73	39.67	40.36	40.74	0.780	0.070
SB1F2	23.29	21.07	205.99	18.97	8.170	0.430
SB2F1	412.39	36.07	147.97	87.78	3.000	1.080
SB2F2	27.47	11.13	255.14	32.78	2.760	0.410
SB3	3003.40	101.25	398.31	496.95	17.100	4.380
SB5F1	3920.20	109.86	406.30	510.69	12.020	1.590
SB5F2	32.10	62.20	217.55	28.33	0.470	1.920
SB6F2	15.50	1.93	253.36	12.79	5.660	0.300
SB7F1	253.25	24.61	118.70	46.58	2.460	0.260
SB7F2	57.14	9.44	119.18	39.57	2.410	0.330
SB8F1	5370.13	157.84	501.19	805.45	33.130	0.920
SB8F2	39.11	8.44	365.43	23.75	14.580	1.540
SB8PB1	1885.62	68.67	148.44	231.31	7.130	0.540
SB8PB5	39.04	3.86	358.33	24.46	1.950	0.270
SB9	232.79	23.69	220.21	59.42	0.890	0.660
SB10F1	693.97	29.42	84.06	68.37	3.550	0.190
SB10F2	22.20	2.23	183.90	10.69	1.290	0.410
SB11	1050.28	26.64	119.97	87.26	2.700	0.280
SB12F1	1439.02	16.90	264.41	87.26	10.470	0.320
SB12F2	127.52	144.06	248.42	42.20	1.460	0.510
SB13	2280.86	17.20	498.43	101.57	23.400	0.690
SB14	2714.64	120.85	356.47	463.98	26.410	1.630
SB16	4856.62	154.62	765.77	659.63	37.420	0.830
SB17	4299.77	27.42	612.77	581.37	35.870	0.520
SB18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
SB21	230.80	36.80	63.99	38.33	3.540	0.390
SB22F1	180.22	21.81	163.96	55.56	6.330	0.910
SB22F2	7.61	3.93	179.16	12.22	5.390	0.390
SB23	586.50	37.27	186.36	126.67	9.360	2.090
SB24	271.73	18.44	235.14	86.67	18.530	2.440
SB26F1	6451.05	227.84	381.70	832.92	7.320	0.520
SB26F2	39.34	60.97	173.99	11.07	2.120	0.650
SB27F1	2682.15	103.77	110.87	287.56	1.630	0.380
SB27F2	33.58	27.12	130.01	31.67	1.970	0.280
SB28F1	6851.55	227.45	319.40	916.77	0.780	0.250
SB28F2	24.55	3.60	210.89	13.39	4.070	0.410
SB29F1	980.30	80.69	91.48	123.68	1.000	0.050
SB29F2	43.98	9.26	183.67	21.35	1.370	0.230
SB30F1	155.58	32.63	47.45	49.11	0.630	0.090
SB30F2	22.74	0.65	154.83	6.47	0.140	0.080
SB31F1	1164.95	266.57	160.09	163.51	4.720	0.400
SB31F2	19.36	5.94	250.95	13.89	0.280	0.250
SB32F1	260.54	7.80	159.31	15.79	6.670	0.440

Putnummer	Natrium (mg/l)	Kalium (mg/l)	Calcium (mg/l)	Magnesium (mg/l)	IJzer (mg/l)	Mangaan (mg/l)
SB32F2	25.94	2.96	238.85	13.99	4.940	0.400
SB33F1	3812.55	146.67	199.53	396.89	4.380	0.170
SB33F2	47.33	14.93	126.98	8.05	1.840	0.170
SB34F1	795.24	43.26	29.18	34.94	0.360	0.080
SB34F2	33.74	55.95	177.63	30.42	0.110	0.140
SB35F1	4735.30	175.97	162.55	828.97	0.320	0.090
SB35F2	21.49	3.74	248.69	32.75	0.180	0.030
SB36	12.79	1.26	209.16	21.92	11.340	0.200
SB36	15.30	1.48	215.97	11.72	11.940	0.170
SB37F1	1569.00	90.99	71.91	140.17	0.160	0.050
SB38F1	6939.60	344.64	421.25	909.70	4.080	0.420
SB38F1	7011.82	284.49	394.50	981.88	4.070	0.480
SB38F2	60.71	60.37	297.69	25.03	5.380	0.810
SB39F1	8859.20	291.68	454.29	1136.00	19.020	0.910
SB39F1	8692.00	328.33	423.92	1184.17	20.410	0.940
SB39F2	49.31	77.63	161.31	23.94	0.860	0.470
SB40F1	6252.65	175.13	373.03	862.07	1.290	0.340
SB40F2	23.38	1.83	169.29	9.15	2.800	0.170
SB41F1	5753.72	207.28	172.29	867.59	5.260	0.330
SB41F2	35.37	17.94	140.82	67.60	0.220	0.040
SB42F1	8036.09	249.58	459.93	1143.45	0.050	0.200
SB42F2	17.09	3.38	232.21	15.07	5.950	0.360
SB42PB1	7739.40	329.68	391.67	990.40	9.270	0.500
SB42PB7	1638.70	71.29	35.83	85.53	0.690	0.060
SB42PB8	17.29	1.53	199.93	10.25	0.630	0.030
SB43F1	7324.40	239.42	512.36	1060.69	1.970	0.250
SB43F2	757.96	87.50	79.40	194.83	0.060	0.090
SB45	1198.70	61.38	228.11	159.41	7.100	0.280
SB46	160.39	16.64	174.83	18.42	6.490	0.330
SB48	7855.79	269.66	753.54	1284.00	35.380	0.950
SB49F1	5931.00	248.38	584.42	866.93	16.870	0.690
SB49F1	6700.87	237.94	555.83	884.79	18.760	0.760
SB49F2	19.81	4.64	207.30	12.58	1.170	0.390

Putnummer	Ammonium (mg/l)	Chloride (mg/l)	Sulfaat (mg/l)	Nitraat (mg/l)	Nitriet (mg/l)	Bicarb. (mg/l)
HSB1	0.660	43.56	147.15	0.830	0.060	452.01
HSB2	1.880	18.94	9.26	1.620	0.060	734.44
HSB3	1.110	18.98	93.85	0.190	0.230	628.30
HSB4	0.360	26.44	115.66	0.950	0.070	464.82
HSB5	5.790	251.76	24.08	0.000	0.040	632.57
HSB23	4.960	2307.00	231.30	3.300	0.280	1448.14
HSB26	75.310	1685.80	9.47	1.410	0.180	1288.32
HSB29	0.460	85.15	201.68	1.000	0.100	478.24
HSB30	1.140	21.12	165.46	1.150	0.060	566.08
HSB32	1.440	197.45	53.30	0.590	0.100	723.46
HSB33F1	1.110	36.01	170.61	0.000	0.100	466.04
HSB39	4.600	158.88	385.05	0.980	0.220	590.48
HSB40	0.760	116.29	433.83	1.780	0.110	424.56
HSB41	0.300	48.71	274.33	1.780	0.160	401.38
HSB42	0.690	43.82	626.04	2.430	0.410	544.12
HSB43	0.990	147.80	186.66	1.840	0.140	766.16
HSB43	0.990	147.80	186.66	1.840	0.140	766.16
SB1F1	1.280	89.06	2.68	0.620	0.050	761.28
SB1F2	0.110	54.98	264.87	0.120	0.050	403.82
SB2F1	14.940	529.60	27.37	1.350	0.070	1193.16
SB2F2	0.740	32.99	224.73	0.790	1.100	691.74
SB3	15.290	4917.01	12.97	5.020	0.090	3697.82
SB5F1	14.820	7157.39	13.38	4.910	0.140	2934.10
SB5F2	3.690	50.65	128.63	0.080	0.030	738.10
SB6F2	0.210	89.67	204.77	0.150	0.070	465.43
SB7F1	8.700	387.02	10.50	0.240	0.030	701.50
SB7F2	1.040	64.26	3.70	0.150	0.080	613.05
SB8F1	11.120	10225.56	19.96	0.870	0.220	2867.00
SB8F2	1.170	118.26	400.69	0.520	0.060	689.91
SB8PB1	24.940	3105.20	6.38	2.500	0.720	1618.94
SB8PB5	0.700	79.28	506.27	3.600	0.350	520.94
SB9	10.180	421.23	65.86	0.520	0.070	872.30
SB10F1	6.570	966.52	10.91	0.780	0.040	971.12
SB10F2	0.220	24.49	158.47	0.590	0.060	463.23
SB11	10.410	1461.12	5.56	1.100	0.110	1280.39
SB12F1	6.440	2376.60	8.23	1.170	0.160	1275.51
SB12F2	5.750	291.09	95.29	0.670	0.130	1085.19
SB13	8.360	4171.00	3.91	4.880	0.460	1221.22
SB14	9.260	4426.80	20.99	3.580	0.130	3599.00
SB16	11.260	9996.00	216.09	3.300	0.120	2224.06
SB17	9.300	8568.00	291.62	2.410	0.110	1510.36
SB18	0.000	0.00	0.00	0.000	0.000	0.00
SB21	2.020	201.30	16.26	0.560	0.040	709.43
SB22F1	7.310	306.85	3.50	0.410	0.020	814.96
SB22F2	0.490	12.63	68.33	0.000	0.040	514.23
SB23	14.710	802.25	4.53	1.730	0.050	1631.14
SB24	8.450	373.40	13.38	0.220	0.050	1345.66
SB26F1	17.020	11709.50	747.05	2.550	0.060	2130.12
SB26F2	0.440	31.66	120.60	1.610	0.480	596.58
SB27F1	13.340	4434.20	131.30	2.280	0.130	1512.19
SB27F2	2.310	32.04	64.21	0.600	0.050	558.15
SB28F1	46.420	12423.60	32.72	3.930	0.170	3034.14
SB28F2	0.750	47.52	131.92	1.050	0.080	556.93
SB29F1	27.930	1622.61	10.91	0.300	0.060	1100.44
SB29F2	1.040	72.24	26.75	0.880	0.040	660.02
SB30F1	1.820	198.32	10.29	0.940	0.440	518.50
SB30F2	0.120	22.21	102.69	79.930	0.670	312.32
SB31F1	7.800	1944.33	240.79	0.740	0.060	1201.70
SB31F2	0.480	45.24	297.79	2.490	0.040	459.33
SB32F1	1.130	342.71	146.94	0.000	0.050	540.46

Putnummer	Ammonium (mg/l)	Chloride (mg/l)	Sulfaat (mg/l)	Nitraat (mg/l)	Nitriet (mg/l)	Bicarb. (mg/l)
SB32F2	0.880	45.96	65.24	0.830	0.080	736.88
SB33F1	5.100	6273.62	466.14	1.820	0.050	1529.88
SB33F2	10.130	52.20	79.23	0.440	0.090	406.87
SB34F1	3.000	1028.72	37.25	0.240	0.090	714.92
SB34F2	0.080	49.92	181.10	60.860	6.160	495.32
SB35F1	9.180	8982.30	9.47	3.020	0.140	2937.76
SB35F2	1.300	67.67	262.40	0.620	0.100	547.17
SB36	0.390	55.20	164.64	1.290	0.470	502.64
SB36	0.250	59.54	162.17	0.320	0.400	495.32
SB37F1	4.620	2006.89	7.62	2.950	0.500	1721.42
SB38F1	25.800	13363.00	1121.20	2.520	0.370	2087.42
SB38F1	36.790	12964.00	1107.42	0.260	0.440	2044.72
SB38F2	1.910	75.20	333.81	2.290	0.360	761.28
SB39F1	26.800	16951.10	1421.90	1.080	0.600	1654.32
SB39F1	35.440	16370.00	1370.83	0.260	0.800	1609.18
SB39F2	0.070	64.35	204.98	1.010	0.260	497.76
SB40F1	6.330	11720.00	779.57	3.020	0.050	1810.48
SB40F2	0.540	30.67	98.78	0.620	0.180	469.09
SB41F1	7.510	10400.50	15.85	5.670	0.700	3967.44
SB41F2	2.470	16.78	116.69	0.930	0.060	694.18
SB42F1	7.510	15339.50	17.49	8.560	0.330	3154.92
SB42F2	0.970	28.50	129.04	0.850	0.180	661.24
SB42PB1	30.620	14345.00	309.73	0.260	0.630	2705.96
SB42PB7	11.680	2105.00	3.10	0.780	0.450	1465.22
SB42PB8	0.080	33.95	123.07	23.080	1.300	483.12
SB43F1	7.510	14263.50	1226.80	3.020	0.340	2069.12
SB43F2	5.380	432.90	966.90	2.130	0.660	1303.57
SB45	9.810	2033.89	25.73	2.140	0.520	1322.48
SB46	1.160	239.00	109.28	0.800	0.440	573.40
SB48	38.640	15594.20	1122.02	1.520	0.460	1997.14
SB49F1	13.920	11637.80	1495.60	0.800	0.720	1340.78
SB49F1	17.570	12729.00	1526.01	0.260	0.710	1326.14
SB49F2	0.260	57.35	171.02	0.800	0.260	451.40

Putnummer	Carbonaat (mg/l)	Fosfaat (mg/l)	Sio2 (mg/l)	Oxydeer- baarheid (mg/l O2)	Stuifzandcode
HSB1	0.00	2.070	42.40	4.44	F3-CaMix0
HSB2	0.00	2.050	80.61	5.10	F3-CaMix+
HSB3	0.00	1.190	77.33	3.61	F3-CaMix+
HSB4	0.00	1.390	62.77	2.54	F3-CaMix+
HSB5	0.00	8.490	59.50	7.12	Fb2-CaMix+
HSB23	0.00	7.200	60.27	15.46	Bs5-MgMix+
HSB26	0.00	7.030	66.54	15.38	Bs3-MgMix+
HSB29	0.00	0.740	59.34	3.35	F3-CaMix0
HSB30	0.00	1.610	71.43	2.87	F3-CaMix+
HSB32	0.00	3.910	59.34	5.66	Fb2-CaMix+
HSB33F1	0.00	1.270	63.94	3.12	F3-CaMix+
HSB39	0.00	2.460	58.29	5.35	Fb4-CaMix+
HSB40	0.00	0.850	34.63	3.56	F3-CaMix+
HSB41	0.00	1.270	34.07	2.88	F3-CaMix+
HSB42	0.00	0.580	29.54	4.44	F4-CaMix+
HSB43	0.00	0.710	57.73	10.38	F4-CaMix0
HSB43	0.00	0.710	57.73	10.38	F4-CaMix0
SB1F1	0.00	1.720	64.99	7.68	F2-MgMix+
SB1F2	0.00	0.690	41.49	2.46	F3-CaMix+
SB2F1	0.00	13.540	92.65	6.76	B3-CaMix+
SB2F2	0.00	0.910	93.31	2.94	F3-CaMix+
SB3	0.00	13.080	105.45	35.68	Bs5-MgMix+
SB5F1	0.00	14.990	78.80	35.92	Bs5-MgMix0
SB5F2	0.00	0.010	80.07	6.82	F3-CaMix+
SB6F2	0.00	0.610	34.61	2.04	F3-CaMix0
SB7F1	0.00	5.180	50.75	5.79	B3-CaMix+
SB7F2	12.60	0.940	50.60	5.43	F3-CaMix+
SB8F1	0.00	1.600	45.06	30.64	S6-MgMix0
SB8F2	0.00	0.880	54.57	6.11	F4-CaMix0
SB8PB1	0.00	4.310	57.10	40.80	Bs4-MgMix+
SB8PB5	0.00	0.230	33.51	6.14	F4-CaMix+
SB9	0.00	10.060	60.25	6.86	B3-CaMix+
SB10F1	0.00	14.400	50.23	10.30	B3-MgMix+
SB10F2	0.00	0.720	45.70	2.55	F3-CaMix+
SB11	0.00	8.030	46.61	26.32	Bs3-MgMix+
SB12F1	0.00	0.580	21.95	12.88	Bs4-CaMix0
SB12F2	0.00	5.180	52.67	18.88	Fb4-CaMix+
SB13	0.00	1.070	14.99	26.14	Bs5-CaMix-
SB14	0.00	3.400	52.19	37.03	Bs5-MgMix+
SB16	0.00	0.830	22.34	7.98	Bs6-MgMix-
SB17	0.00	0.270	19.75	18.88	Bs6-MgMix-
SB18	0.00	0.000	0.00	2.69	F3-andere0
SB21	0.00	8.400	77.58	7.92	Fb2-CaMix+
SB22F1	0.00	4.130	92.65	5.16	B3-CaMix+
SB22F2	0.00	0.640	56.96	2.60	F3-CaMix+
SB23	0.00	14.370	104.32	16.27	B4-MgMix+
SB24	0.00	18.310	104.32	9.25	B4-CaMix+
SB26F1	0.00	33.830	47.75	11.68	S6-MgMix0
SB26F2	0.00	0.820	32.67	6.01	F3-CaMix+
SB27F1	0.00	31.690	59.02	16.95	Bs4-MgMix+
SB27F2	0.00	9.610	73.26	4.42	F3-CaMix+
SB28F1	0.00	37.950	51.13	22.16	S6-MgMix0
SB28F2	0.00	7.840	54.68	2.69	F3-CaMix+
SB29F1	0.00	17.140	72.53	8.23	Bs3-MgMix+
SB29F2	0.00	3.330	75.34	4.47	F3-CaMix+
SB30F1	0.00	2.120	59.00	7.44	Fb2-MgMix+
SB30F2	0.00	0.100	11.29	2.81	F3-CaMix+
SB31F1	0.00	7.200	48.28	9.24	Bs4-MgMix+
SB31F2	0.00	2.670	13.02	3.21	F3-CaMix0

Putnummer	Carbonaat (mg/l)	Fosfaat (mg/l)	Sio2 (mg/l)	Oxydeer- baarheid (mg/l O2)	Stuifzandcode
SB32F1	0.00	0.950	45.50	3.47	B3-CaMix+
SB32F2	0.00	1.970	39.78	4.56	F3-CaMix+
SB33F1	0.00	9.950	43.21	17.12	Bs5-MgMix+
SB33F2	0.00	4.910	21.20	14.05	F2-CaMix+
SB34F1	0.00	16.840	53.35	0.28	Bs2-MgMix+
SB34F2	0.00	3.140	20.46	5.47	F3-CaMix+
SB35F1	0.00	4.640	78.00	11.13	Bs6-MgMix0
SB35F2	0.00	1.640	56.46	3.52	F3-CaMix+
SB36	0.00	0.600	25.41	3.20	F3-CaMix0
SB36	0.00	0.650	32.28	3.37	F3-CaMix0
SB37F1	0.00	9.800	64.28	3.94	Bs3-MgMix+
SB38F1	0.00	4.520	55.84	7.54	S6-MgMix-
SB38F1	0.00	3.630	52.68	64.16	S6-MgMix0
SB38F2	0.00	2.200	71.94	6.75	F4-CaMix+
SB39F1	0.00	2.330	41.84	10.16	S6-MgMix-
SB39F1	0.00	2.260	45.67	67.02	S6-MgMix0
SB39F2	0.00	0.770	30.82	4.93	F3-CaMix+
SB40F1	0.00	4.610	62.84	9.39	S6-MgMix0
SB40F2	0.00	0.670	41.21	3.56	F3-CaMix+
SB41F1	0.00	4.040	71.34	8.75	S6-MgMix+
SB41F2	0.00	2.080	78.09	2.97	F3-CaMix+
SB42F1	0.00	4.520	64.28	3.15	S6-MgMix0
SB42F2	0.00	0.600	58.47	6.04	F3-CaMix+
SB42PB1	0.00	3.630	55.19	64.16	S6-MgMix0
SB42PB7	0.00	6.520	65.87	61.40	Bs3-MgMix+
SB42PB8	0.00	0.230	35.75	4.46	F3-CaMix0
SB43F1	0.00	4.990	46.00	15.71	S6-MgMix-
SB43F2	0.00	7.200	55.01	17.23	B4-MgMix+
SB45	0.00	5.180	54.38	5.79	Bs4-MgMix+
SB46	0.00	1.320	34.25	5.42	Fb3-CaMix0
SB48	0.00	4.640	19.95	42.36	S7-MgMix0
SB49F1	0.00	1.790	32.67	6.67	S6-MgMix0
SB49F1	0.00	1.860	42.87	46.84	S6-MgMix0
SB49F2	0.00	1.220	65.27	3.89	F3-CaMix0

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
Faculteit van de Wetenschappen

**HYDROGEOLOGIE EN HYDROCHEMIE
VAN DE IJZERVLAKE
TUSSEN DE FRANS - BELGISCHE GRENS
EN AVEKAPELLE - PERVIJZE
(WESTELIJKE KUSTVLAKTE)**

Ludo ZEUWTS

Deel 3 : Platen

Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad
van Doctor in de Wetenschappen
(Aard- en Delfstofkunde)

Promotor : Prof. Dr. W. De Breuck

1991

BIJSTELLING: Bij de uitvoering van grote ondergrondse bouwwerken in de civiele techniek is een grondige kennis van de geologische opbouw van de ondergrond onontbeerlijk.

1. Inleiding

De uitvoering van grote bouwprojecten in de civiele techniek vereist vaak de uitgraving van bouwputten, welke een diepte van 20 m kunnen bereiken. Bij dergelijke werken is een voorafgaandelijk geologisch onderzoek onontbeerlijk. Bovendien blijkt dat ook nadat de werken zijn gestart vaak nog bijkomend geologisch onderzoek noodzakelijk is.

Aan de hand van twee voorbeelden, respectievelijk de bouwputten voor de toegangskomplexen van de Liefkenshoektunnel op de Linker- en Rechter Scheldeoever, wordt het belang van het geologisch onderzoek in het kader van de bemalingswerken aangetoond.

2. Voorafgaandelijk geologisch onderzoek

Op de beide Scheldeoevers werd het toegangskomplex van de Liefkenshoektunnel gebouwd in den droge. De uitvoering van de bouwwerkzaamheden vergde een verlaging van het grondwaterpeil met ca. 15 m.

Alvorens tot de bemaling van de bouwputten over te gaan werd een hydrogeologische studie uitgevoerd op basis van bestaande gegevens.

Het onderzoek toonde aan dat de ondergrond ter hoogte van de beide werfzones is opgebouwd uit twee semi-artesische watervoerende lagen, respectievelijk tussen de peilen -4,5 (-2,0) en -9,5 (-9,0) (Kwartair en Lid van Merksem) en tussen de peilen -11,0 (-13,0) en -25,5 (-35,0) (Lid van Oorderen, Lid van Luchtbal en Formatie van Kattendijk). Beide lagen zijn van elkaar gescheiden door het kleihoudende Lid van Kruisschans.

Het ondoorlatend substraat wordt gevormd door de Boomse klei. De bovenste watervoerende laag is bovenaan begrensd door polderlagen bestaande uit klei, leem en/of veen.

De hydraulische parameters van de ondergrond werden afgeleid door extrapolatie van de resultaten van een nabij uitgevoerde pompproef.

Het belang van het voorafgaandelijk geologisch onderzoek situeerde zich vooral op twee gebieden :

- a. Het hydrogeologisch onderzoek toonde aan dat de aanwezigheid van een veenlaag belangrijke zettingen kon veroorzaken, met nefaste gevolgen voor de in de omgeving aanwezige konstrukties, en dit zowel op Linkeroever (konstrukties fa. Haltermann) als op Rechteroever (Konstrukties Ebes en Degussa, Molen van Lillo, M.O.O.W.-gebouw, Leidingenbrug over bouwput).

Een gewone bemaling zonder bescherming van de omliggende konstrukties was uitgesloten ; retourbemaling was noodzakelijk.

- b. Het bemalings-retourbemalingssysteem werd ontworpen met behulp van een mathematisch model, waarbij de gegevens van het geologisch onderzoek onontbeerlijk waren. Dankzij het mathematisch model kon rekening worden gehouden met de wisselende samenstelling van de ondergrond en de wisselende geohydrologische parameters, het effect van de bemaling in de beide watervoerende lagen, het effect van de hervoeding in de eerste watervoerende laag, de invloed van de nabijgelegen Schelde en de invloed van de aanwezige vertikale schermen.

Het komputermodel liet toe het aantal bemalings- en retourbemalingsputten te bepalen en deze zo efficiënt mogelijk in te planten. Zo kon voor Linkeroever worden aangetoond dat de onttrekkingsputten het best aan één zijde van de tunnel, nl. deze tegenovergesteld aan de zijde van de firma Haltermann konden worden geboord.

3. Bijkomend geologisch onderzoek

2.1. Toegangskomplex Liefkenshoek-tunnel Linker-Scheldeoever

Na het opstarten van de bemaling en retourbemaling konden de volgende vaststellingen worden gedaan :

- de geïnstalleerde bemalingscapaciteit van 550 m³/h bleek niet voldoende ; de grootste afwijking t.o.v. de berekende toestand werd waargenomen in het landwaarts gedeelte van de bouwput.
- handhaving van het rustpeil d.m.v. retourbemaling op de terreinen van de firma Haltermann bleek in het landwaarts gedeelte van de bouwput niet mogelijk met de geïnstalleerde retourcapaciteit. Meer naar de Schelde toe was daarentegen sprake van een zekere reserve.

Tussen het landwaarts gedeelte van de bouwput en het gedeelte nabij de Schelde bleek bijgevolg een duidelijk verschil te bestaan.

Bijkomend grondonderzoek, bestaande uit boringen, sonderingen, granulometrische analyses, doorlatendheidsproeven en de plaatsing van bijkomende peilputten, werd uitgevoerd.

In het landwaarts gedeelte van de bouwput bleek de eerste watervoerende laag tussen -2,0 en -9,0 m T.A.W. te zijn opgebouwd uit zeer grove schelpenlagen met een doorlatendheid van ca. $8 \cdot 10^{-4}$ m/s. Deze afzettingen zijn niet aanwezig nabij de Schelde.

Met behulp van het bijkomend onderzoek konden deze grove lagen in kaart worden gebracht. Ze geven aanleiding tot een opbolling in de door de bemaling veroorzaakte verhanglijn over de bouwput.

Nieuwe berekeningen met het mathematisch model, thans met invoering van de grove schelpenlagen, toonden aan dat in het landwaarts gedeelte van de bouwput een extra-debiet van 375 m³/h diende te worden verpompt. Hiervoor werden in de eerste watervoerende zandlaag bijkomende bemalingsbronnen geïnstalleerd.

Bovendien moest de capaciteit van de retourbemaling in deze zone worden verhoogd. Daar, als gevolg van de grote doorlatendheid van de ondergrond, de wisselwerking tussen bemaling en retourbemaling groot was, werd over een lengte van ca. 200 m een ondoorlatend scherm aangebracht.

2.2. Toegangskomplex Liefkenshoek-tunnel Rechter-Scheldeoever

Bij aanvang van de uitgraving van de bouwput op Rechteroever deden zich in een welbepaalde zone van de bouwput belangrijke grondverschuivingen voor. Daar deze grondverschuivingen een gevaar vormden voor de stabiliteit van de Leidingenbrug over de bouwput (gasleidingen onder hoge druk) werd bijkomend grondonderzoek uitgevoerd.

Het betrof twee droge boringen en een 15-tal sonderingen, verspreid over de getroffen zone.

Uit het grondonderzoek kon worden afgeleid dat in de zone met grondverschuivingen de ondergrond tot het peil -5 à -12 m T.A.W. is opgebouwd uit weinig consistente klei- en of leemlagen. De oorspronkelijke polderlagen en de eerste watervoerende laag zijn niet aanwezig. In de diepste gedeelten is tevens het weinig doorlatende Lid van Kruisschans uitgeschuurd.

Door middel van de sonderingen kon het voorkomen van deze slappe lagen in kaart worden gebracht. Het betreft een wiel, gevormd tijdens de belangrijke dijkdoorbraken te Lillo vanaf de 16^e eeuw (Beleg van Antwerpen). Dit gebied stond in die periode bekend als het Lilloos Gat, later omgedoopt tot het Hollands Gat.

Als maatregel werd een extra-bemaling geplaatst teneinde de consistentie van de kleilagen te vergroten. Bovendien werd de uitgravingsstrategie gewijzigd.

4. Besluit

Voorafgaandelijk geologisch onderzoek is noodzakelijk om de te volgen werkwijze bij grote bouwprojecten te ontwerpen. Indien zich evenwel anomalieën voordoen welke niet tot uiting komen in het voorafgaandelijk grondonderzoek kan slechts door bijkomend onderzoek, specifiek gericht op het vastgestelde probleem, het ontwerp op de juiste wijze worden bijgestuurd.

RIJKSUNIVERSITEIT GENT
Faculteit van de Wetenschappen

**HYDROGEOLOGIE EN HYDROCHEMIE
VAN DE IJZERVLAKE
TUSSEN DE FRANS - BELGISCHE GRENS
EN AVEKAPELLE - PERVIJZE
(WESTELIJKE KUSTVLAKTE)**

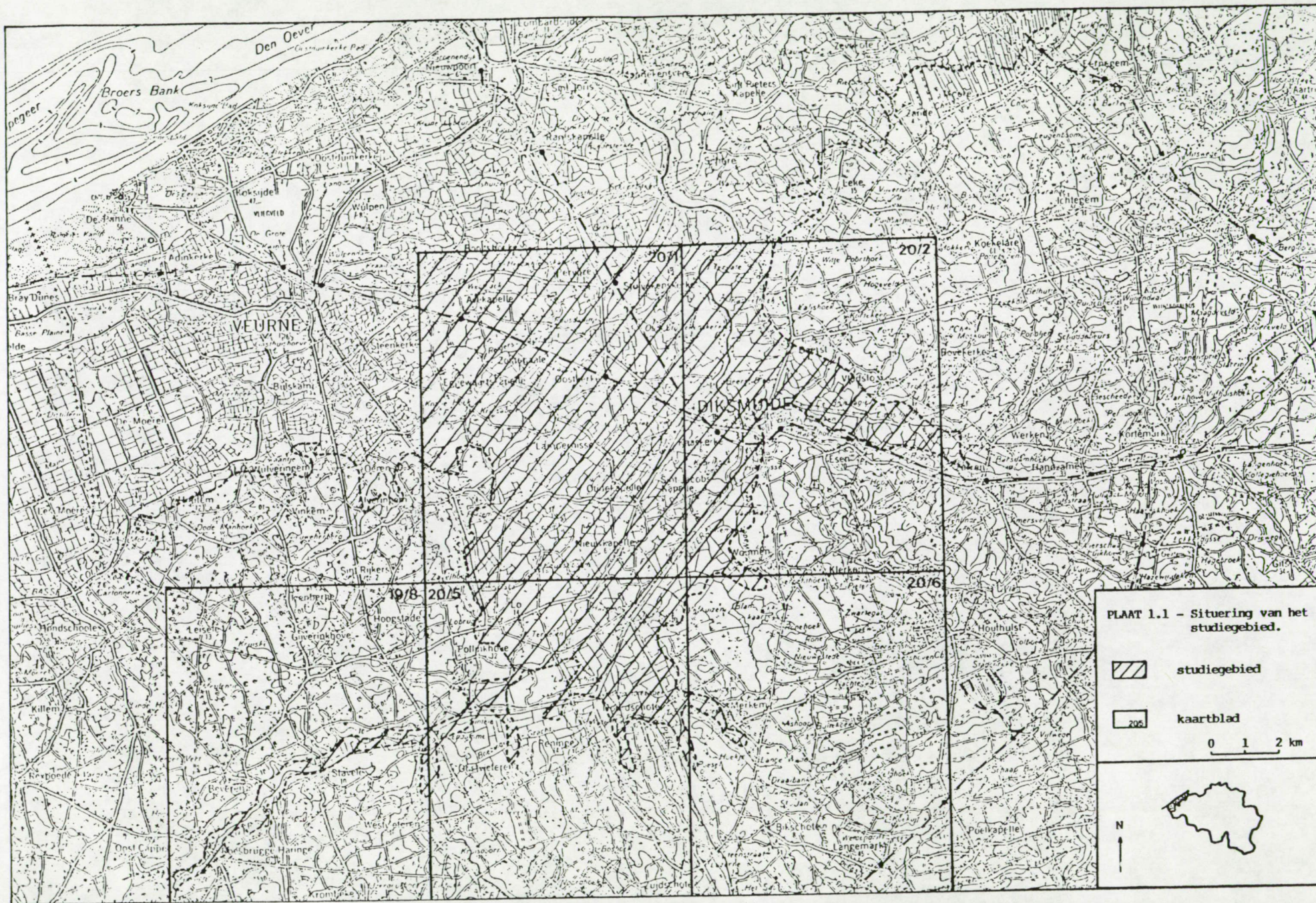
Ludo ZEUWTS

Deel 3 : Platen


Proefschrift voorgelegd tot het verkrijgen van de graad
van Doctor in de Wetenschappen
(Aard- en Delfstofkunde)

Promotor : Prof. Dr. W. De Breuck

1991



PLAAT 1.1 - Situering van het studiegebied.

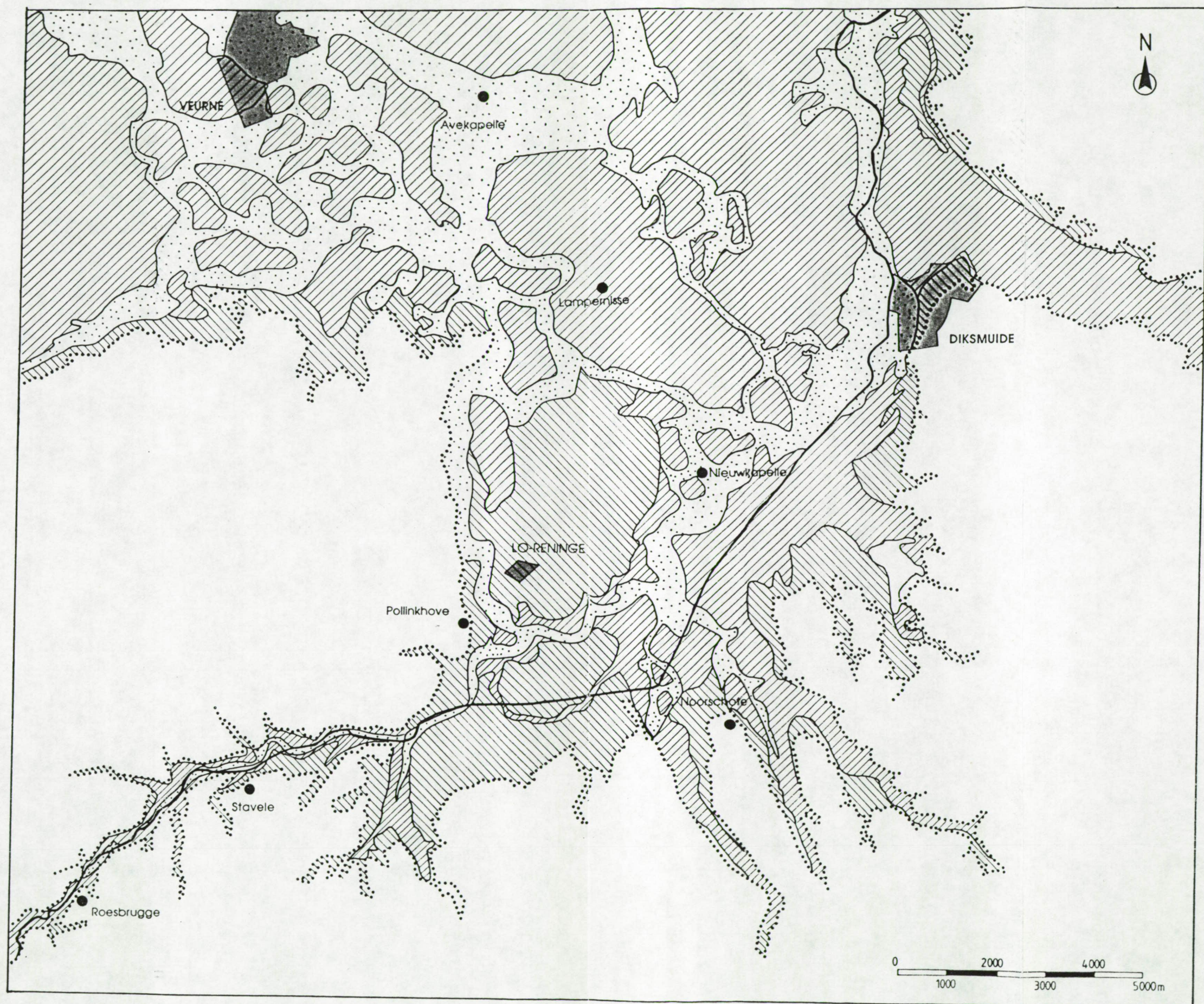
 studiegebied

 kaartblad




0 1 2 km

N

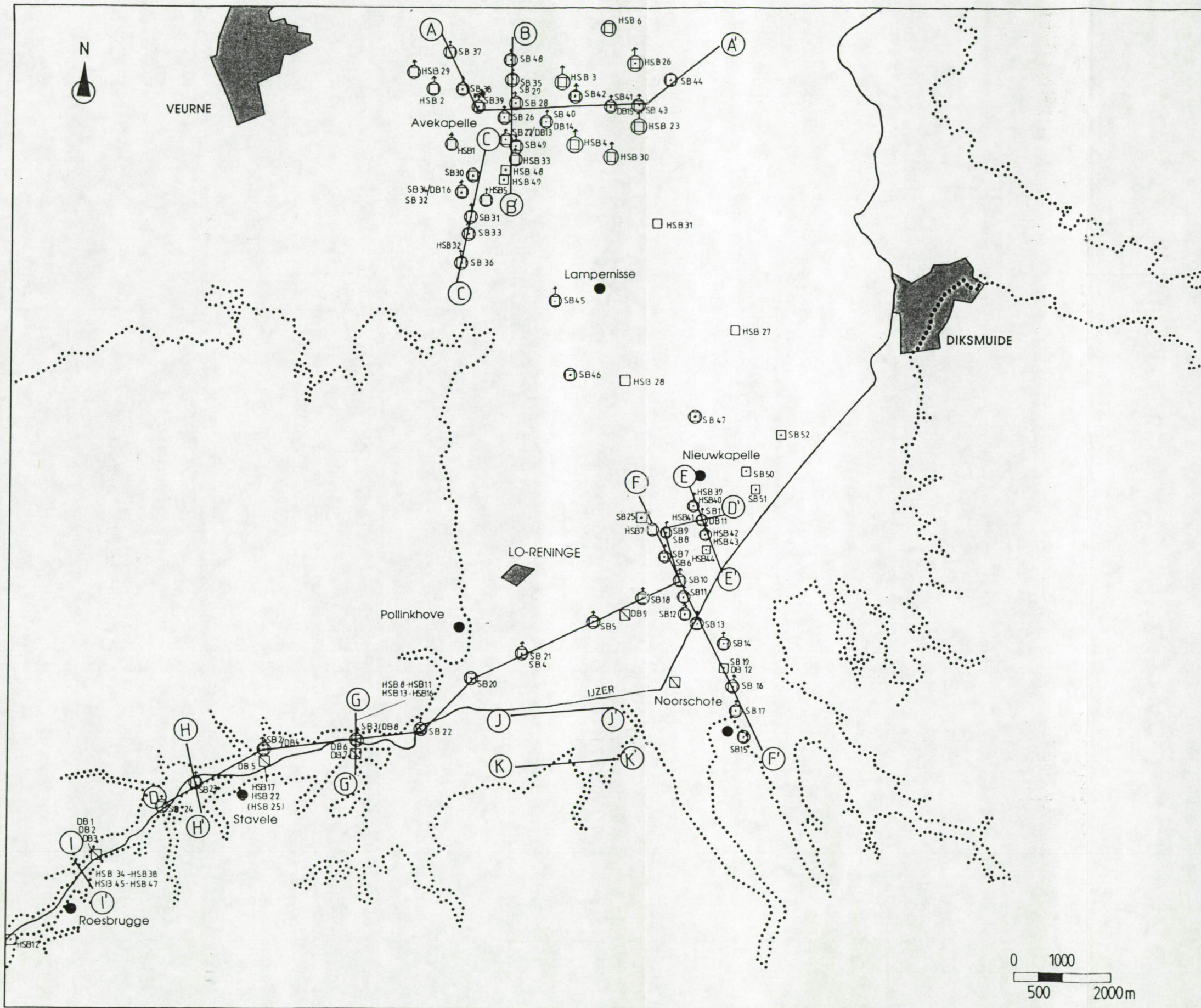




LEGENDE

-  Kreekruggronden
-  Overdekt atlantische en subboreale gronden
-  Overdekt pleistocene gronden

PLAAT 2.1
Zoneringskaart van de IJzervlakte
tussen de Frans-Belgische grens
en Avekapelle.



LEGENDE

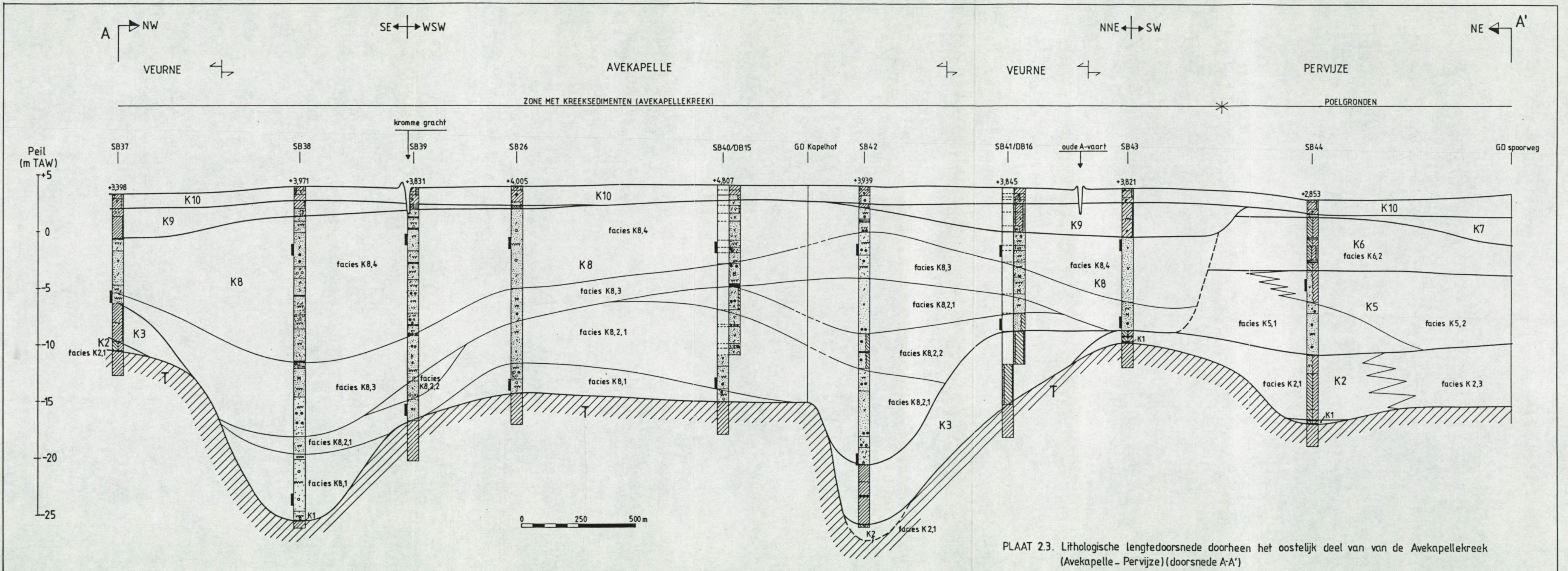
- boring
 - ▣ boring met laboratoriumonderzoek op
geroerde of ongeroerde monsters
 - ◻ boring met geofysische boorgatmeting(en)
 - boorgat uitgerust met één of meerdere
peilbuizen
 - ⊙ boring met geofysische boorgatmeting uit-
gerust met één of meerdere peilbuizen
 - ⊖ peilbuis waaruit (een) grondwatermonster(s)
(is) (zijn) ontnomen
 - ⊕ boring met geofysische boorgatmeting(en)
uitgerust met één of meerdere peilbuizen
waaruit (een) grondwatermonster(s) (is) (zijn)
ontnomen
- A — A' litologische doorsnede
- reeks van boringen
- begrenzing van de kustvlakte

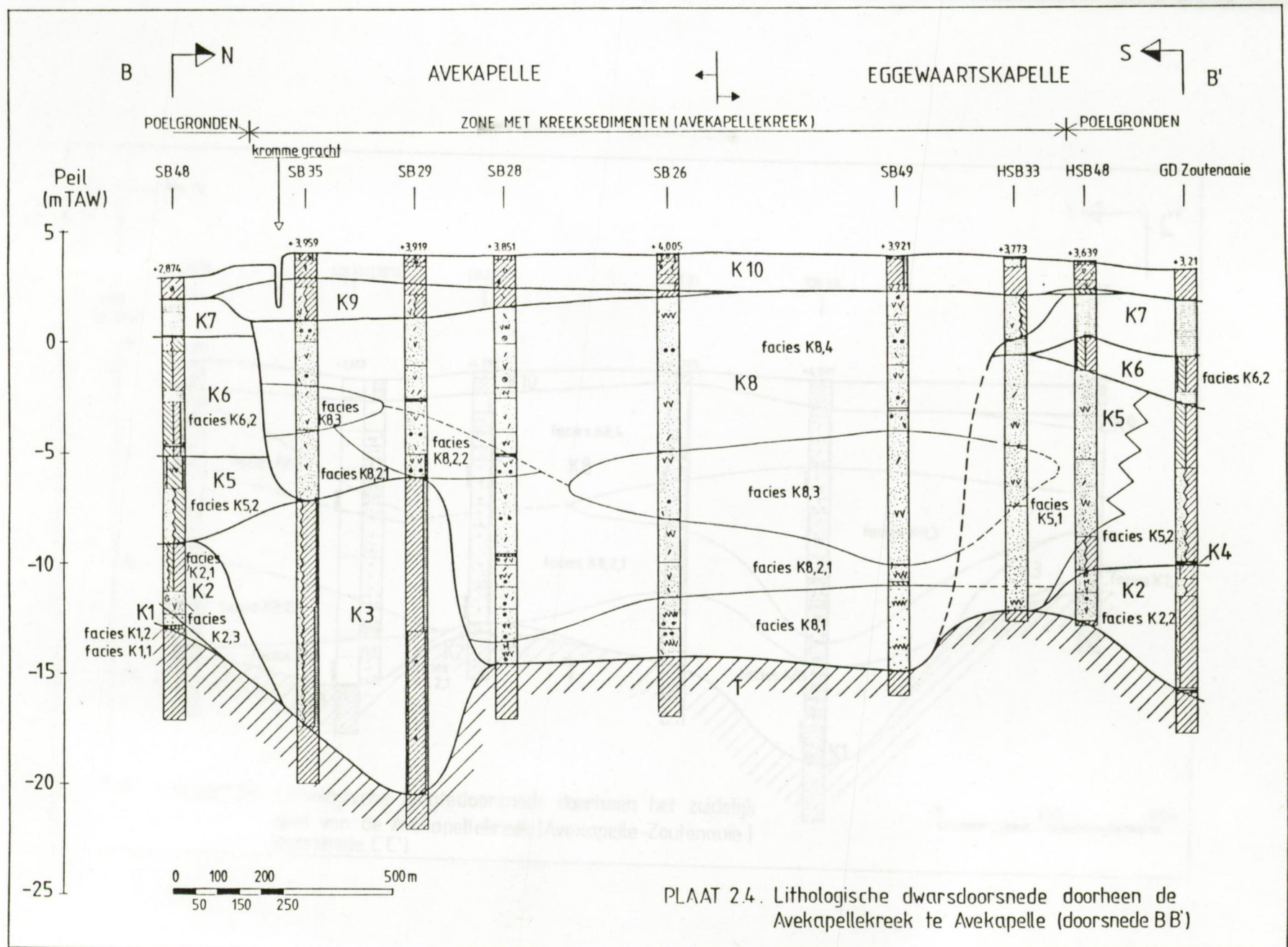
PLAAT 2.2b

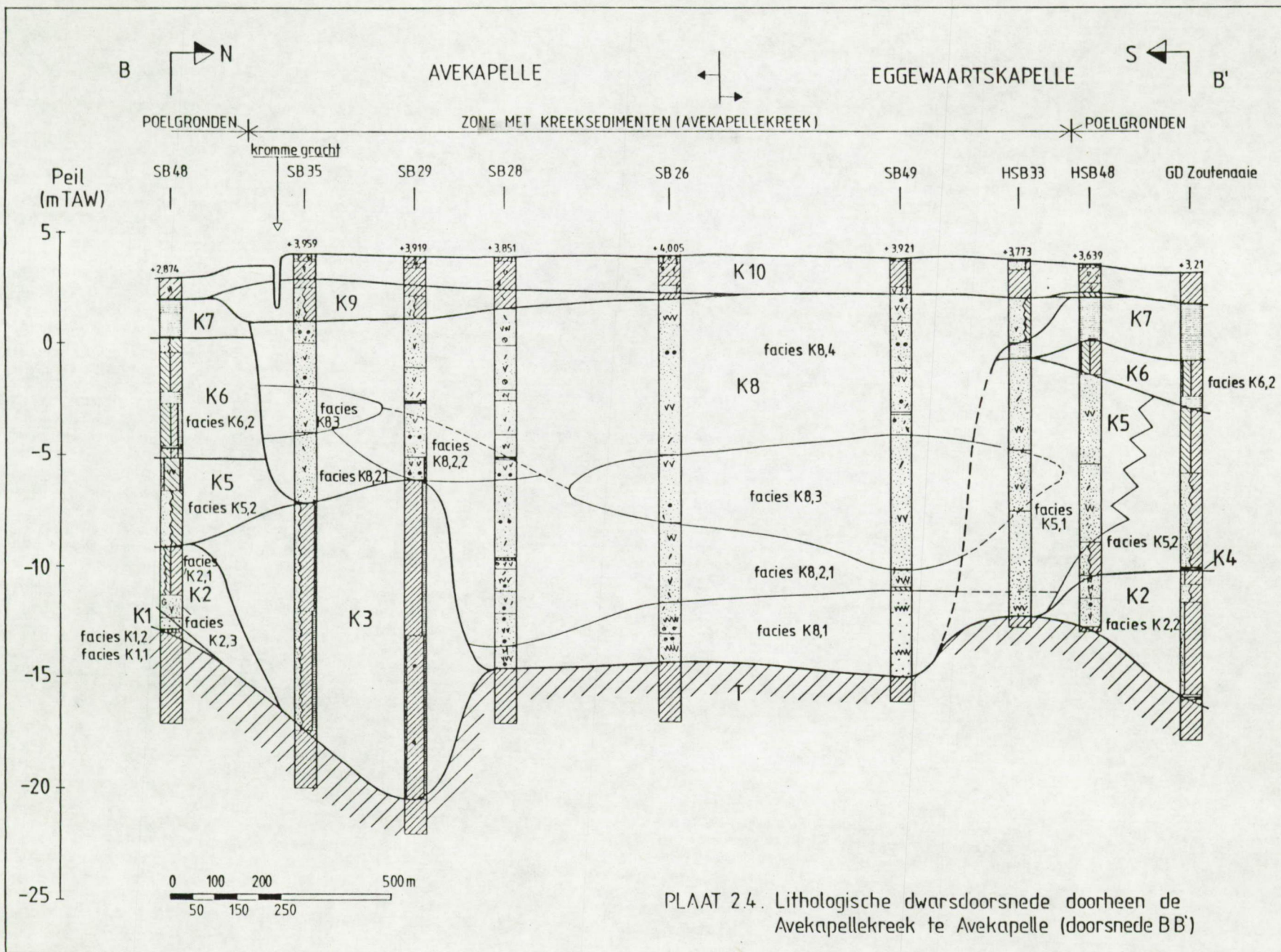
Boringen uitgevoerd in het kader
van het eigen onderzoek.

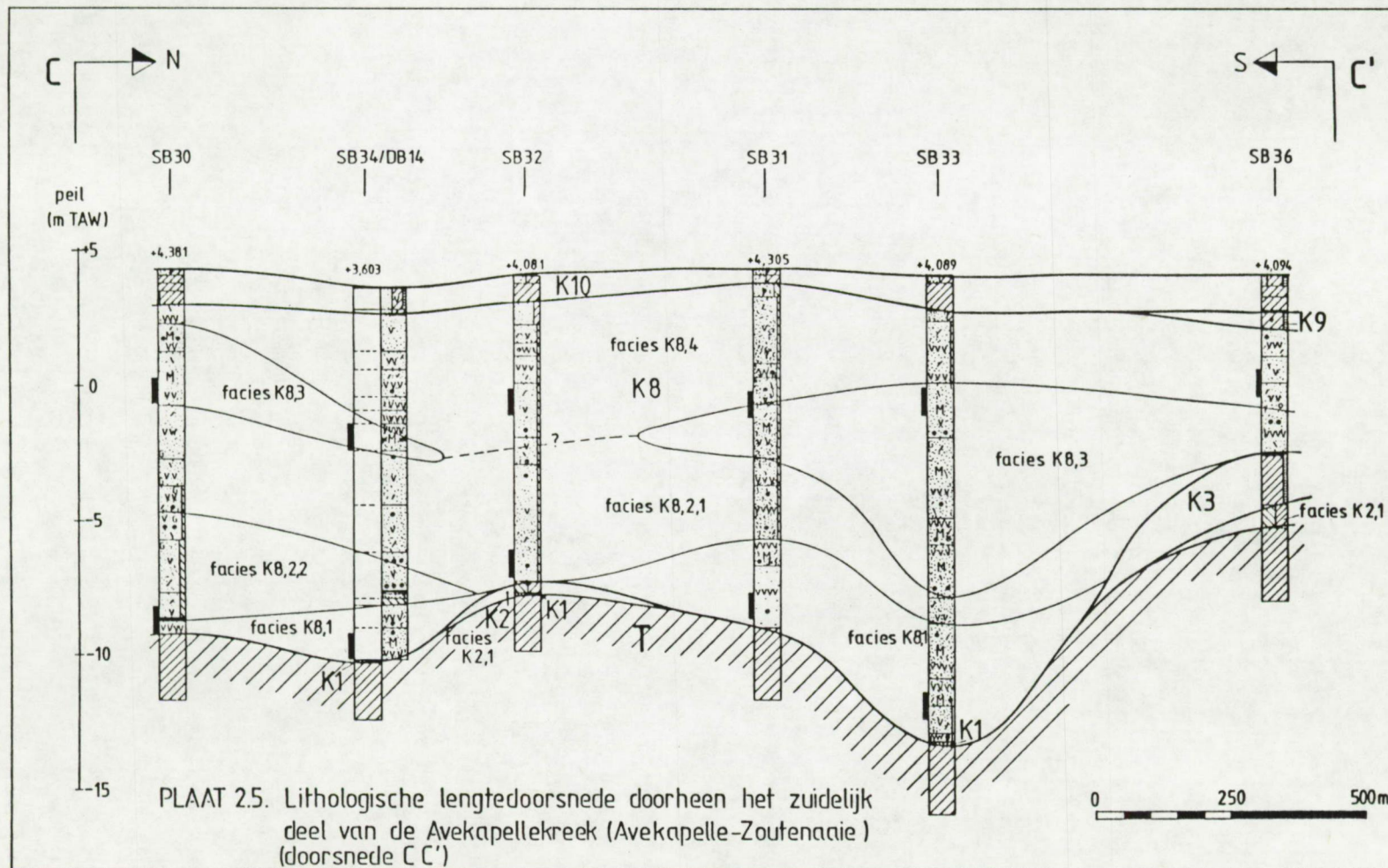
LEGENDE LITOLOGISCHE DOORSNEDEN

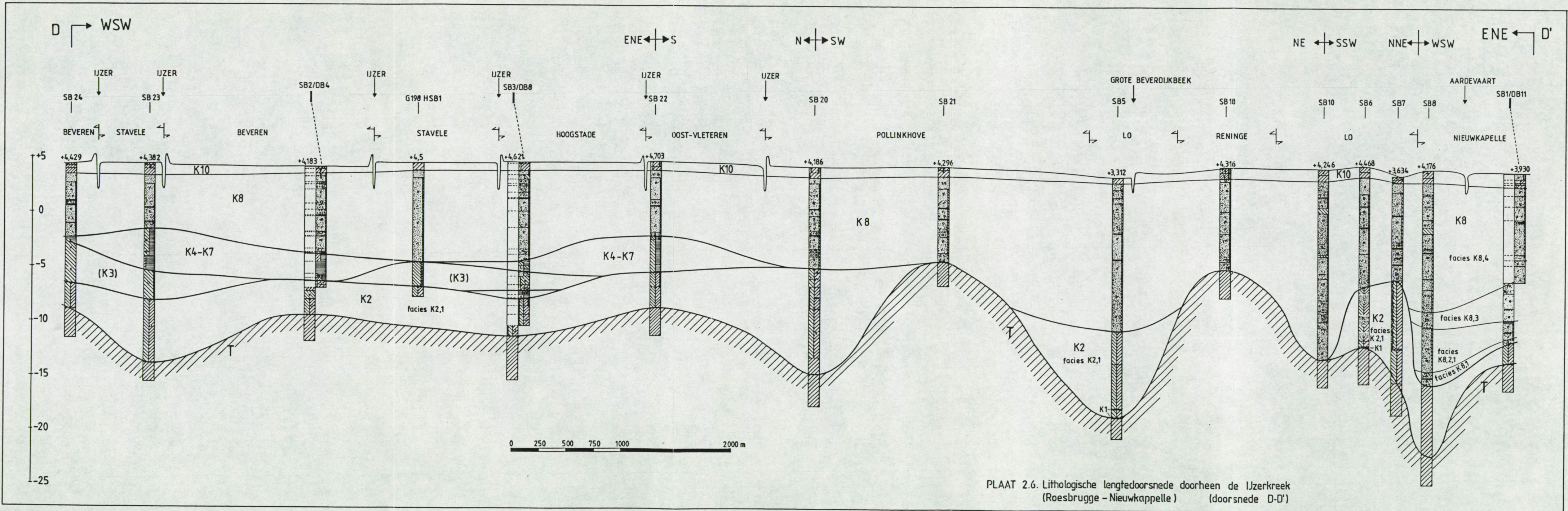
	fijn tot zeer fijn zand		
	middelmatig zand		
	grof tot zeer grof zand		
	leem		
	leem met weinig (zeer) fijn zand		
	leem met veel (zeer) fijn zand tot leemhoudend (zeer) fijn zand		
	leemhoudend (zeer) fijn zand		
	weinig leemhoudend (zeer) fijn zand		
	klei		
	klei met weinig (zeer) fijn zand		
	zandhoudende klei		
	zandhoudende klei tot kleihoudend (zeer) fijn zand		
	kleihoudend (zeer) fijn zand		
	weinig kleihoudend (zeer) fijn zand		
	leemhoudende klei		
	veen		
	veen met weinig bijmenging (klei, leem of zand)		
	sterk veenhoudend tot veen met veel bijmenging (klei, leem of zand)		
	veenhoudend, humushoudend		
	weinig veenhoudend, weinig humushoudend		
(1)	(2)	sterk grinthoudend tot grint	
		grinthoudend	
		weinig grinthoudend	schelpen (1), keien (2)
		zeer weinig grinthoudend	
	baksteenfragmenten of ander puin		zandlensjes
	(glaukoniet) zandsteenfragmenten		glaukoniethoudend
	(glaukoniet) zandsteenbank		gelaagd
	verharde laag		geen monster
(1)	(2)	(3)	veel tot zeer veel leem-(1), klei-(2), veenbrokken (3)
			met meerdere leem-(1), klei-(2), veenbrokken (3)
			weinig leem-(1), klei-(2), veenbrokken (3)



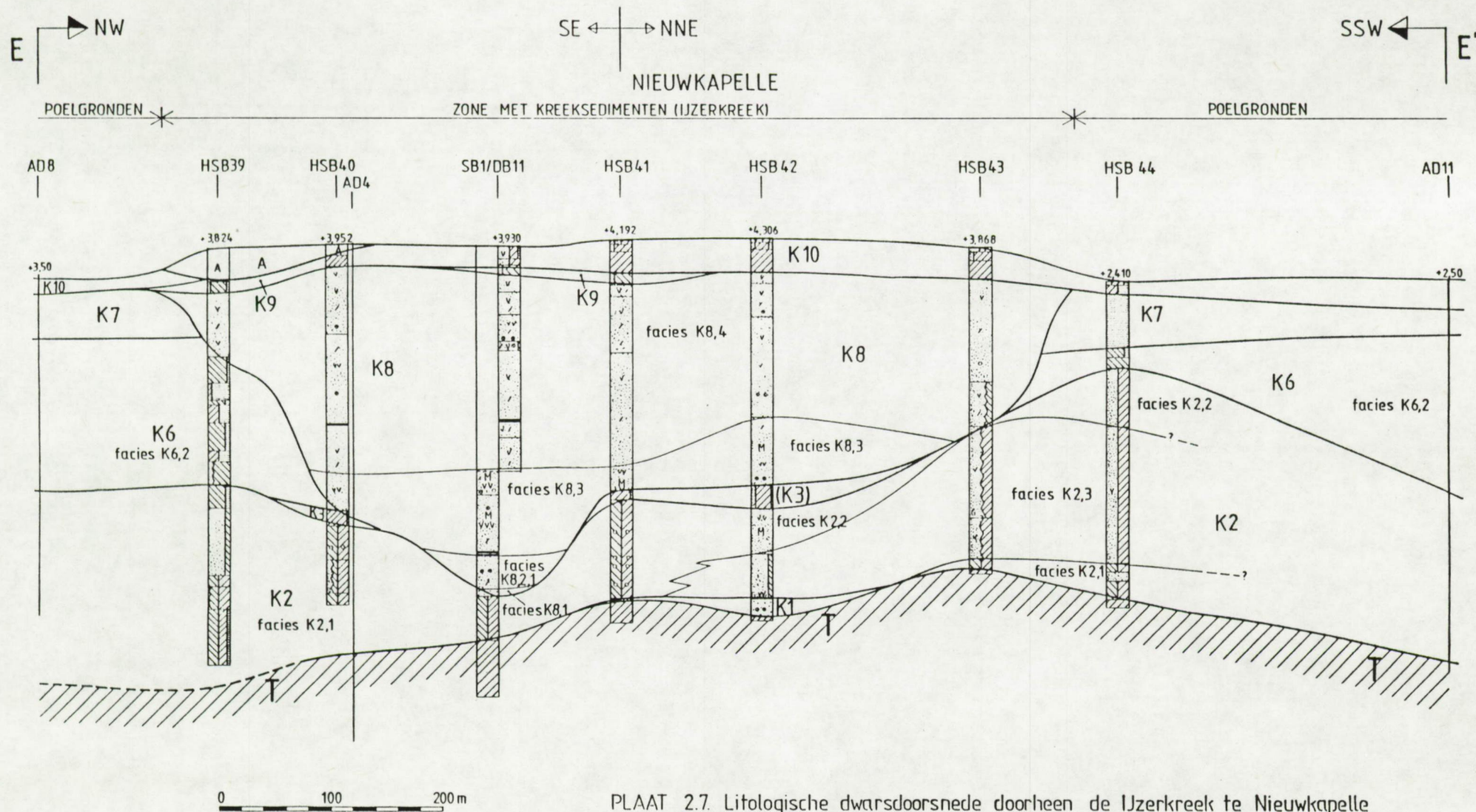




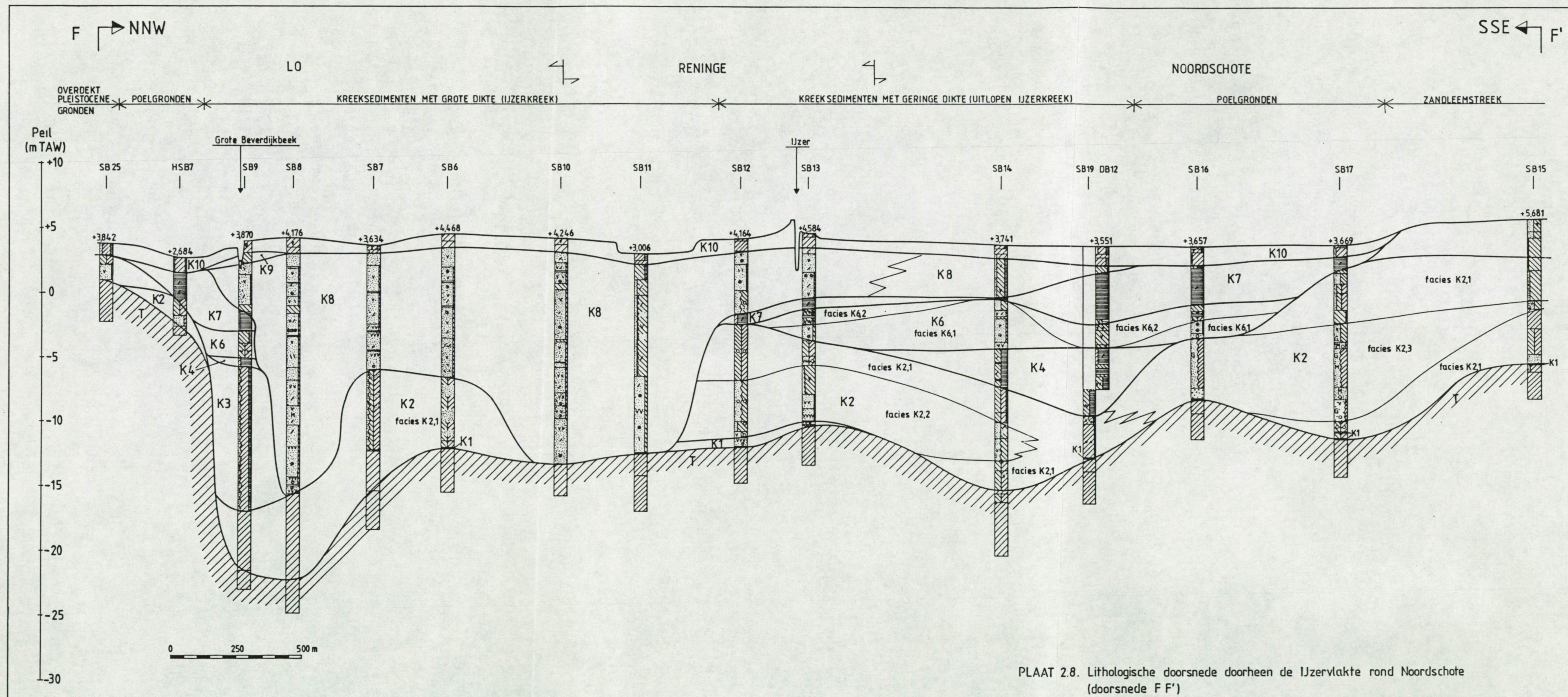




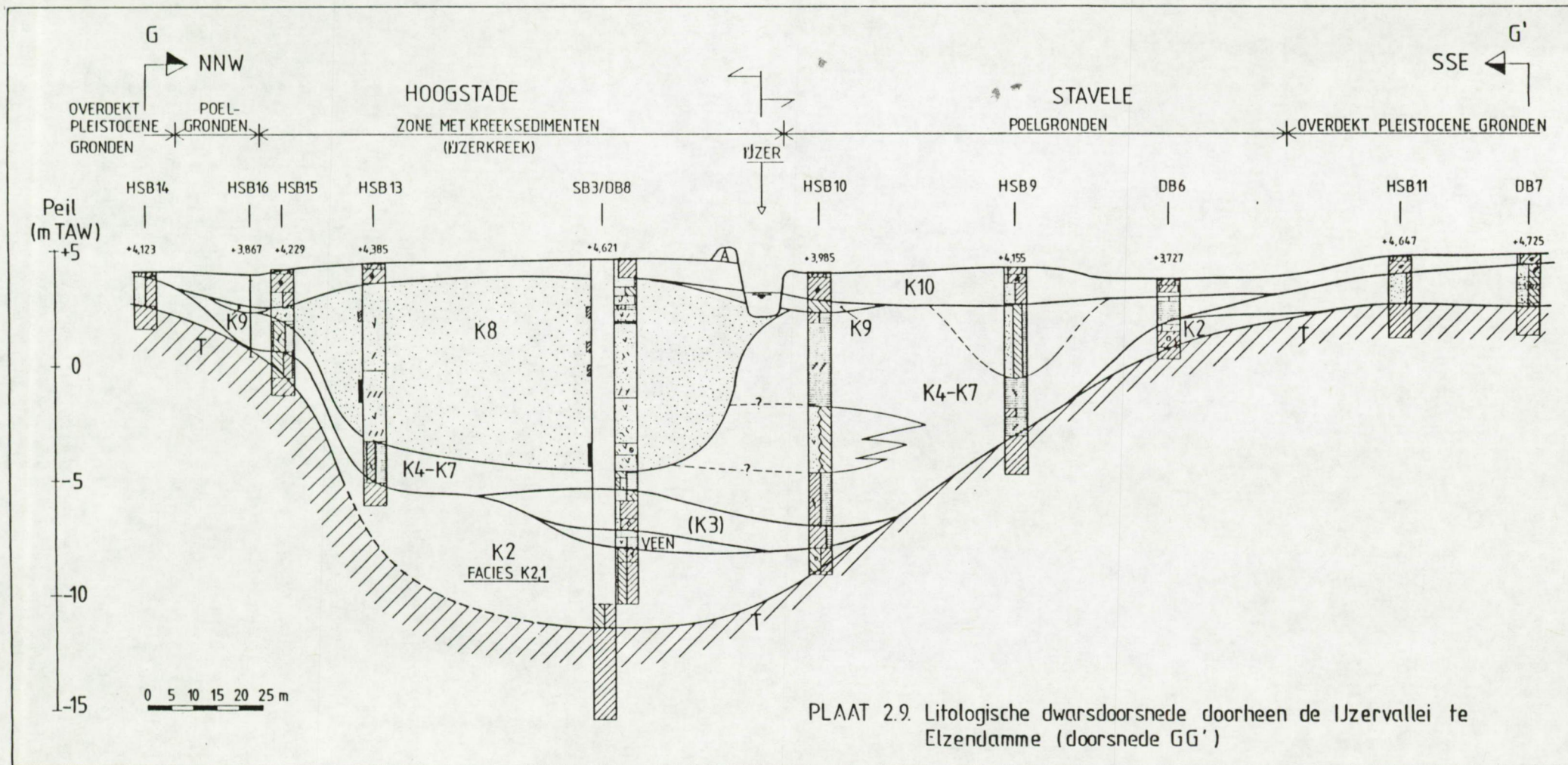
PLAAT 2.6. Lithologische lengtedoorsnede doorheen de IJzerkreek
(Roesbrugge - Nieuwkappelle) (doorsnede D-D')



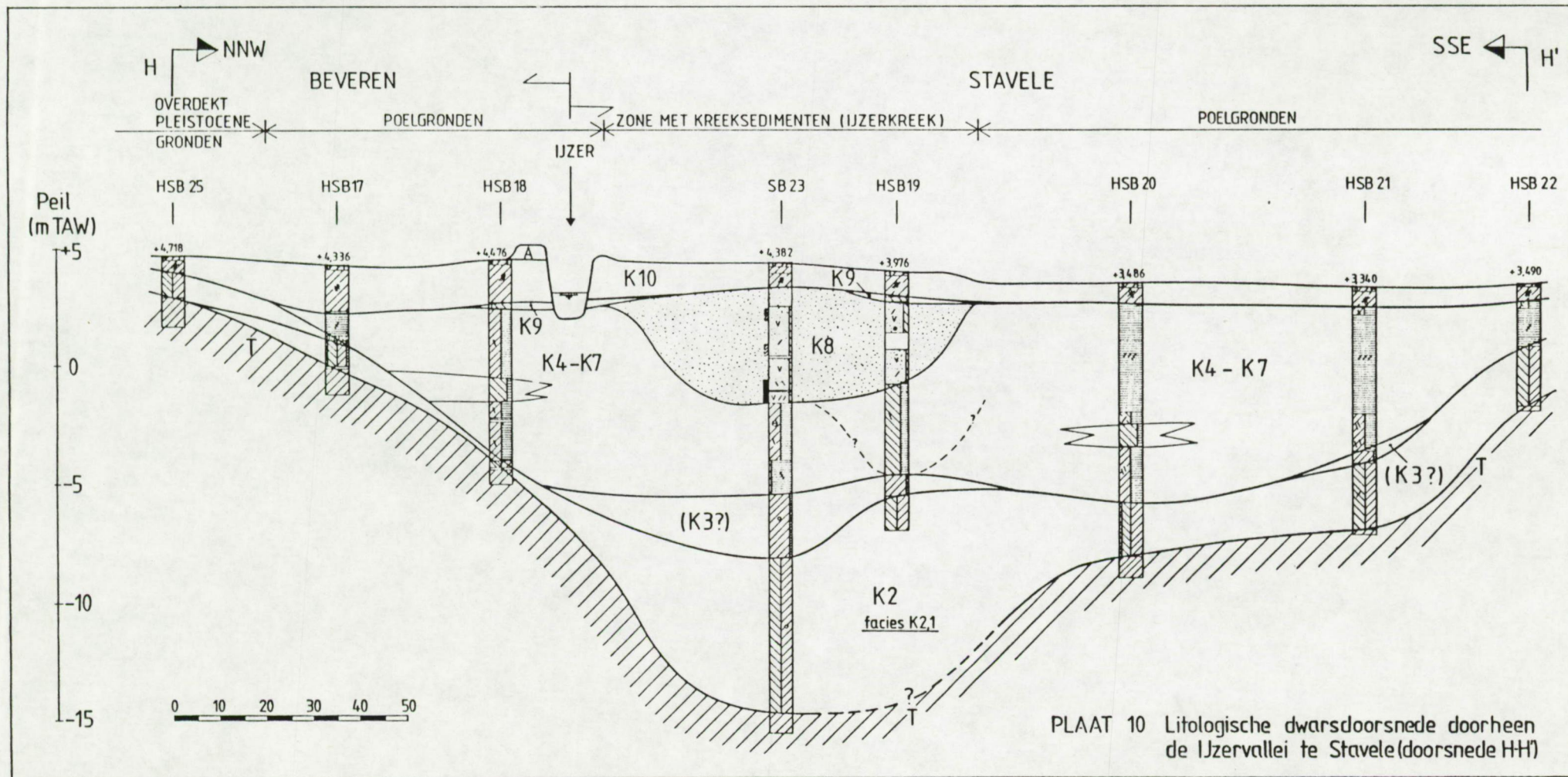
PLAAT 2.7. Litologische dwarsdoorsnede doorheen de IJzercreek te Nieuwkapelle
(doorsnede E-E')



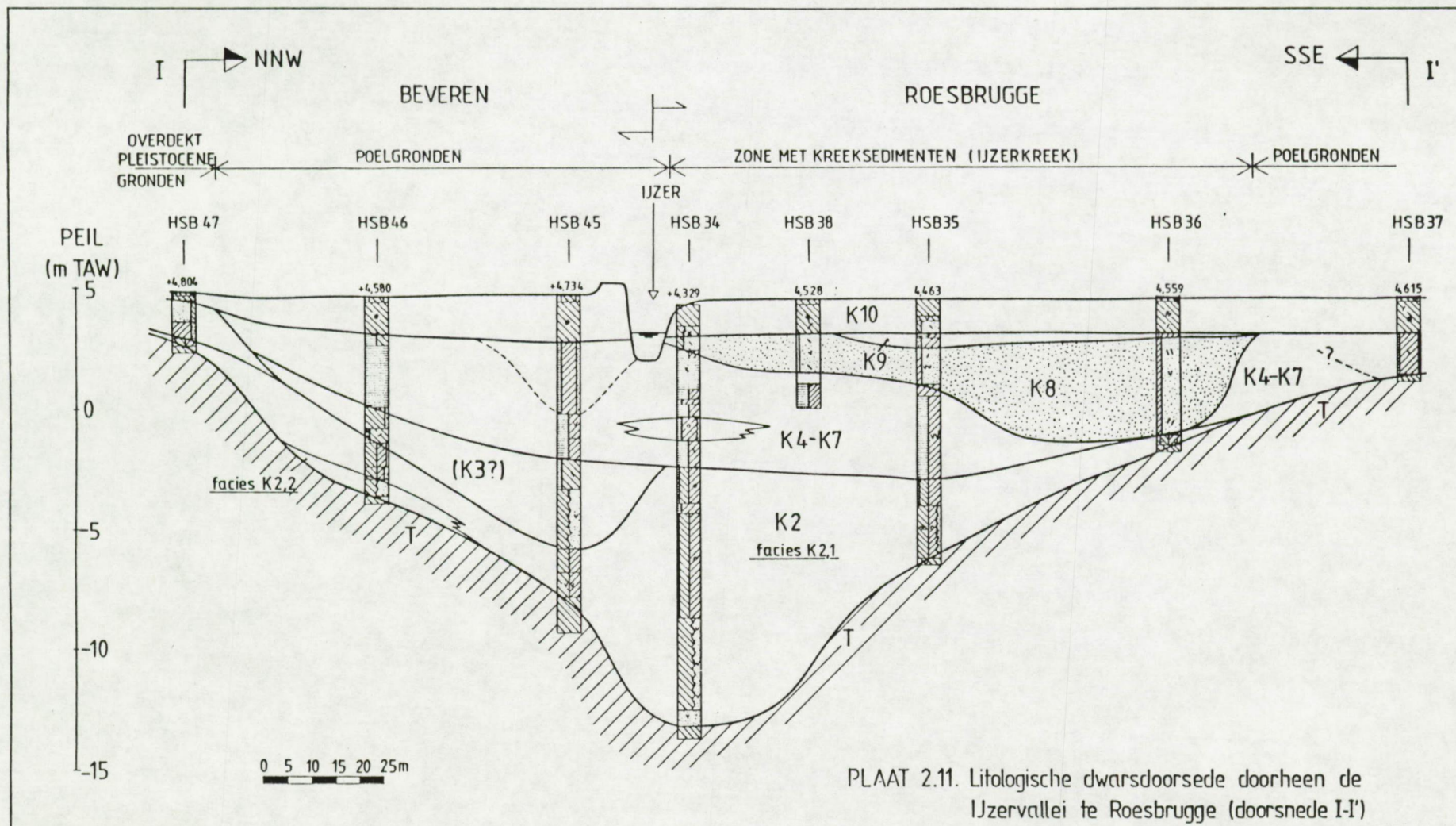
PLAAT 2.8. Lithologische doorsnede doorheen de IJzervlakte rond Noordschote (doorsnede F F')



PLAAT 2.9. Litologische dwarsdoorsnede doorheen de IJzervallei te Elzendamme (doorsnede GG')



PLAAT 10 Litologische dwarsdoorsnede doorheen de IJzervallei te Stavele (doorsnede HH)





LEGENDE

- 5 — lijn van gelijke dikte van het Kwartair
- - - 5 - - - vermoedelijke lijn van gelijke dikte van het Kwartair
- boring of sondering aangewend voor het tekenen van de kaart
- reeks boringen of sonderingen aangewend voor het tekenen van de kaart
- begrenzing van de kustvlakte

PLAAT 2.12.

Diktekaart van het Kwartair in de IJzervlakte








Plaat 2.15. - Voorkomen van de laag K4 in de IJzervlakte.



LEGENDE

- boring waarin zandige kreek-
sedimenten werden aangeboord
- 9,1m dikte van de kreek-
sedimenten
- begrenzing van de kustvlakte
-  IJzerkreek

PLAAT 2.16.

Dikte van de zandige kreek-
sedimenten in de IJzerkreek



LEGENDE

—20— lijn van gelijke dikte van de kreek-sedimenten



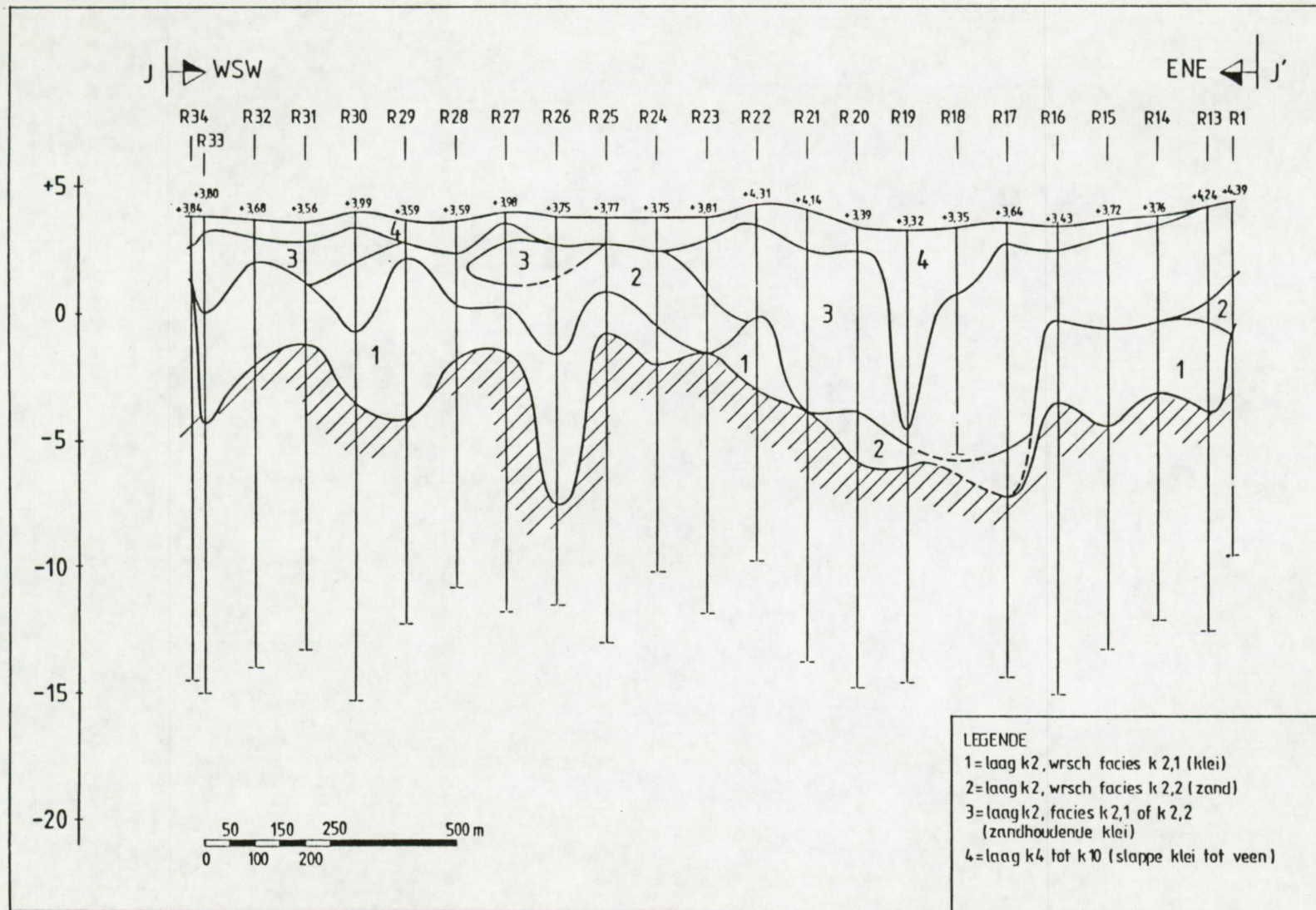
begrenzing van de Avekapelle-kreek



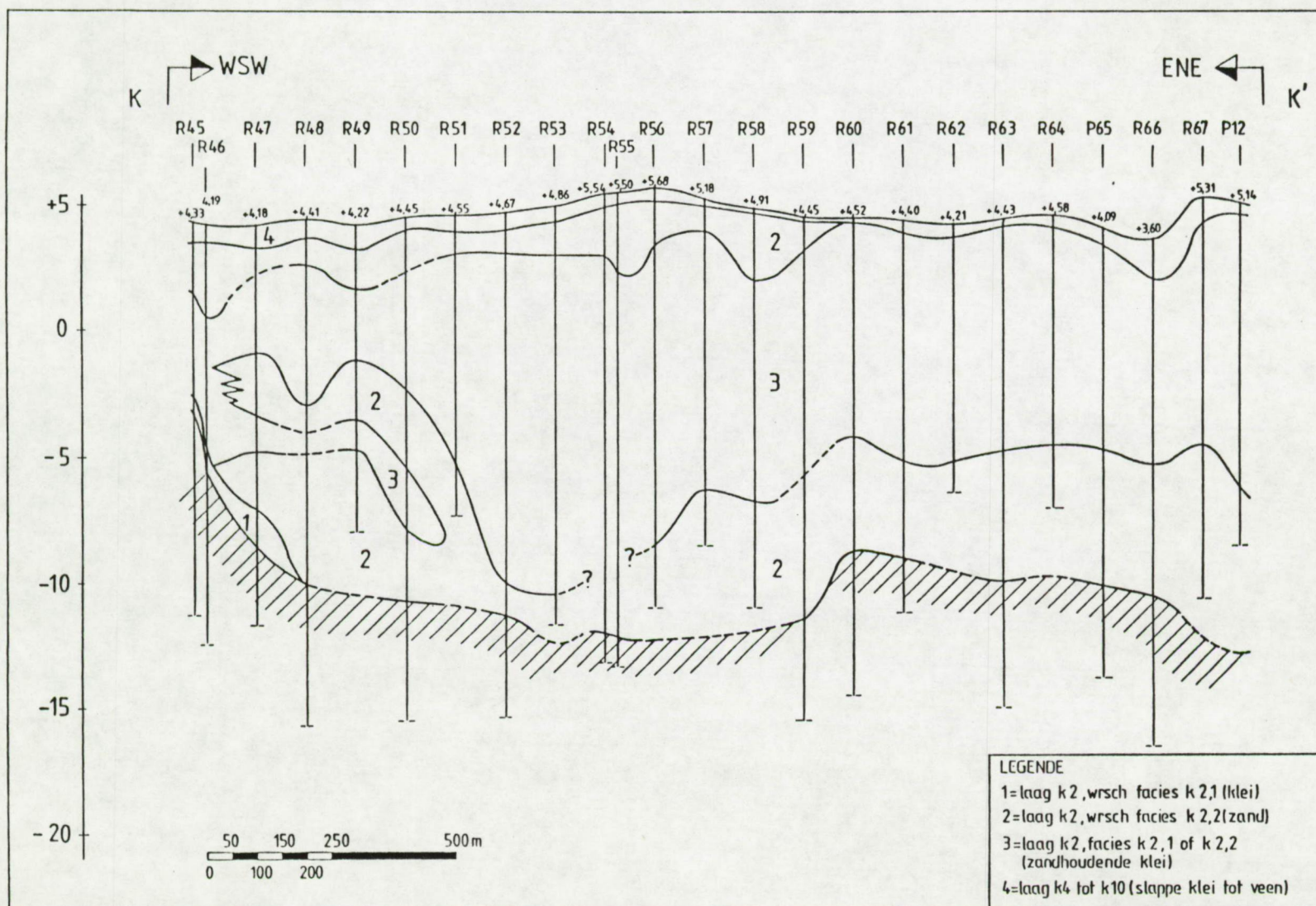
boring aangewend voor het tekenen van de kaart

PLAAT 2.17.

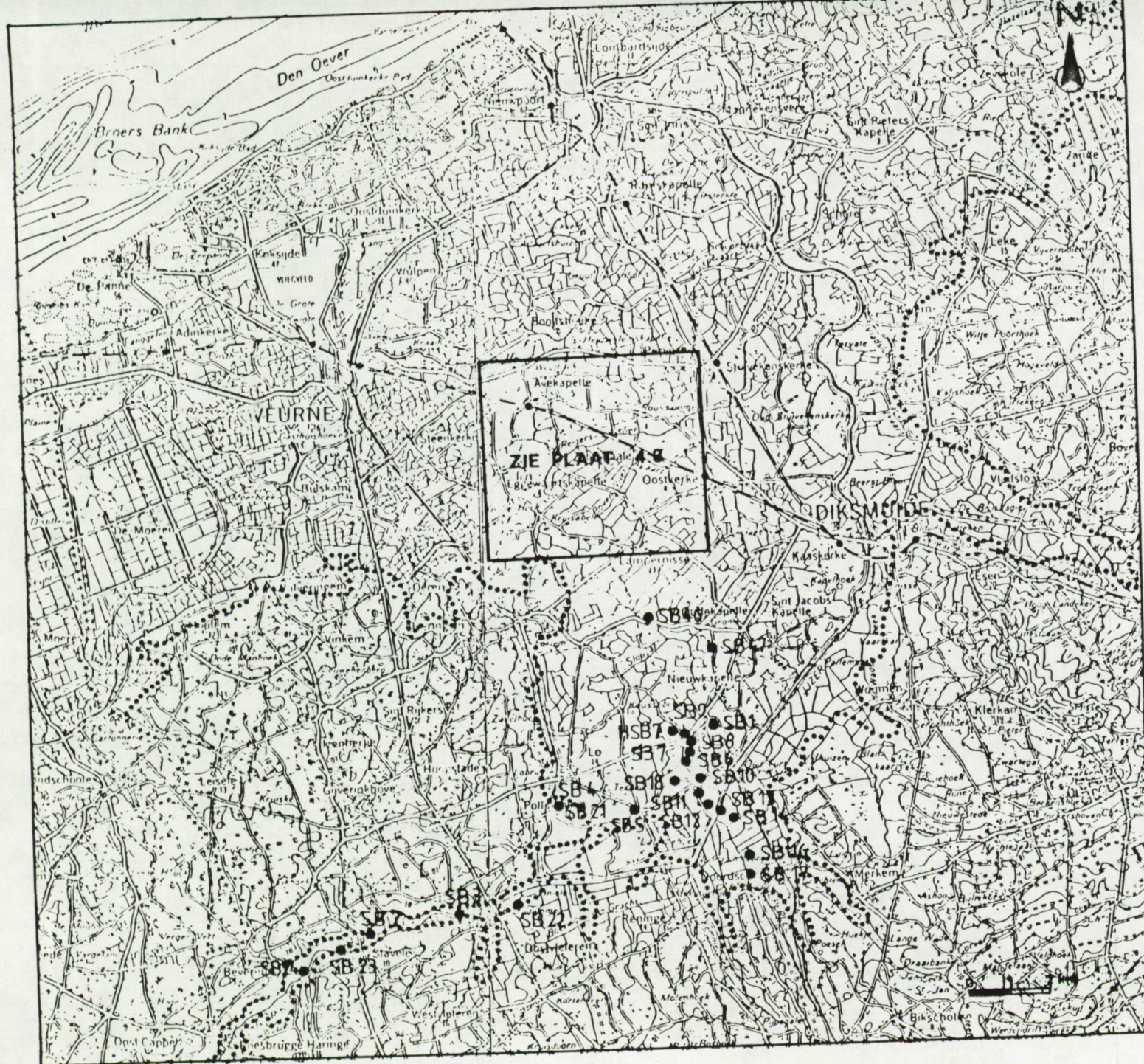
Dikte van de zandige kreek-sedimenten in de Avekapelle-kreek



PLAAT 2.18. Vereenvoudigde lithologische doorsnede doorheen de overdekt pleistocene gronden ten zuiden van de IJzer en ten westen van de Kemmelbeek (doorsnede J-J')

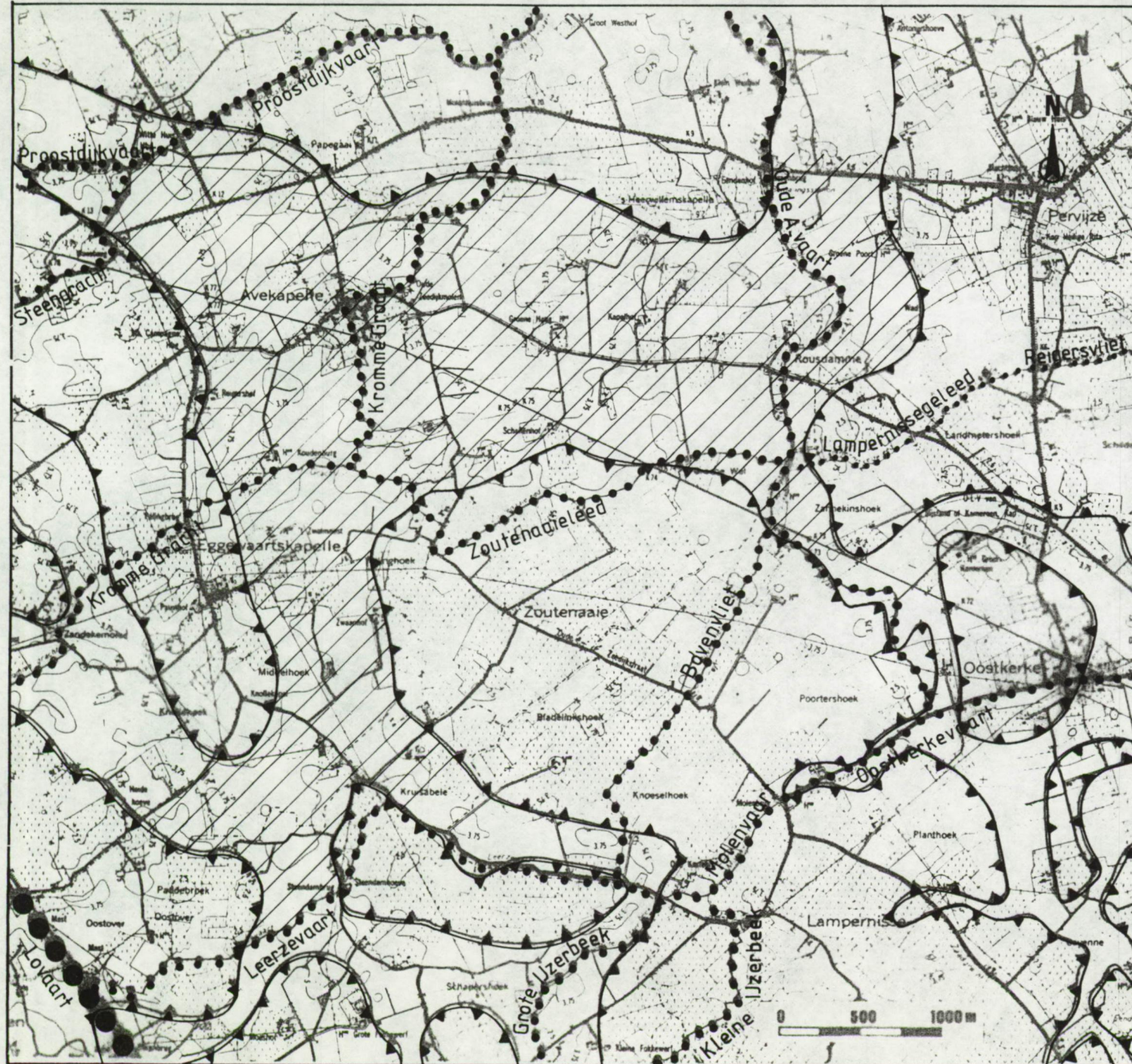


PLAAT 2 19 Vereenvoudigde litologische doorsnede doorheen de overdekt pleistocene gronden ten zuiden van de IJzer en ten westen van de Kemmelbeek (doorsnede K-K')



- LEGENDA
- peilbuis
 - SB 21 nummer van de boring
 - kreeksedimenten
 - begrenzing van de kustvlakte

PLAAT 4.1
Situering van de peilbuizen in
het studiegebied.



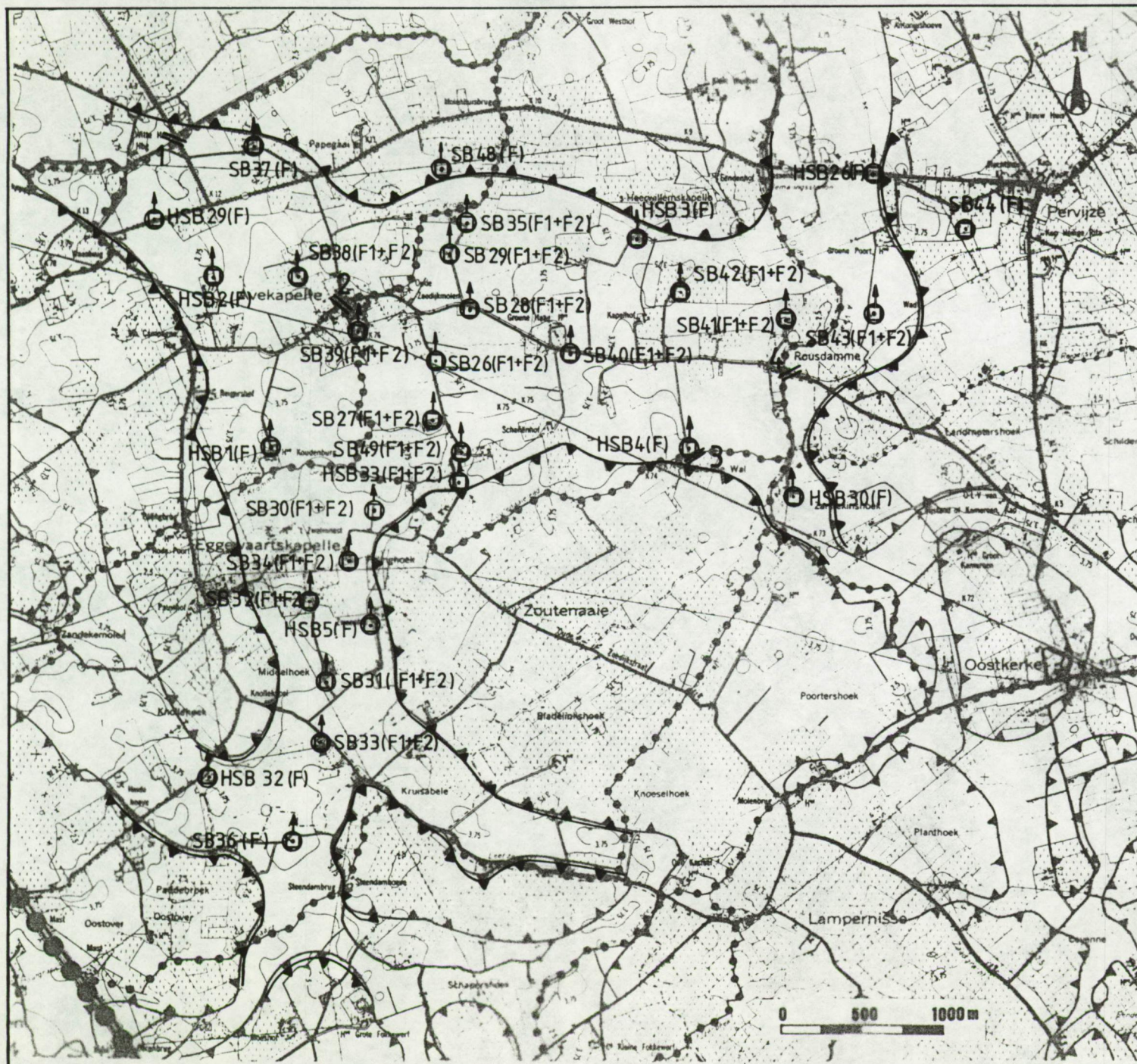
LEGENDE

- afwateringskanaal
- gebied zonder oppervlakte-
veen (kreekrug)
- testgebied

PLAAT 4.2


Situering van het testgebied voor de studie van het regionaal grondwaterstromingspatroon.


Verloop van de voornaamste afwateringskanalen.





LEGENDE

SB 40 boringnummer

 boring met peilbuis + boorgatmeting

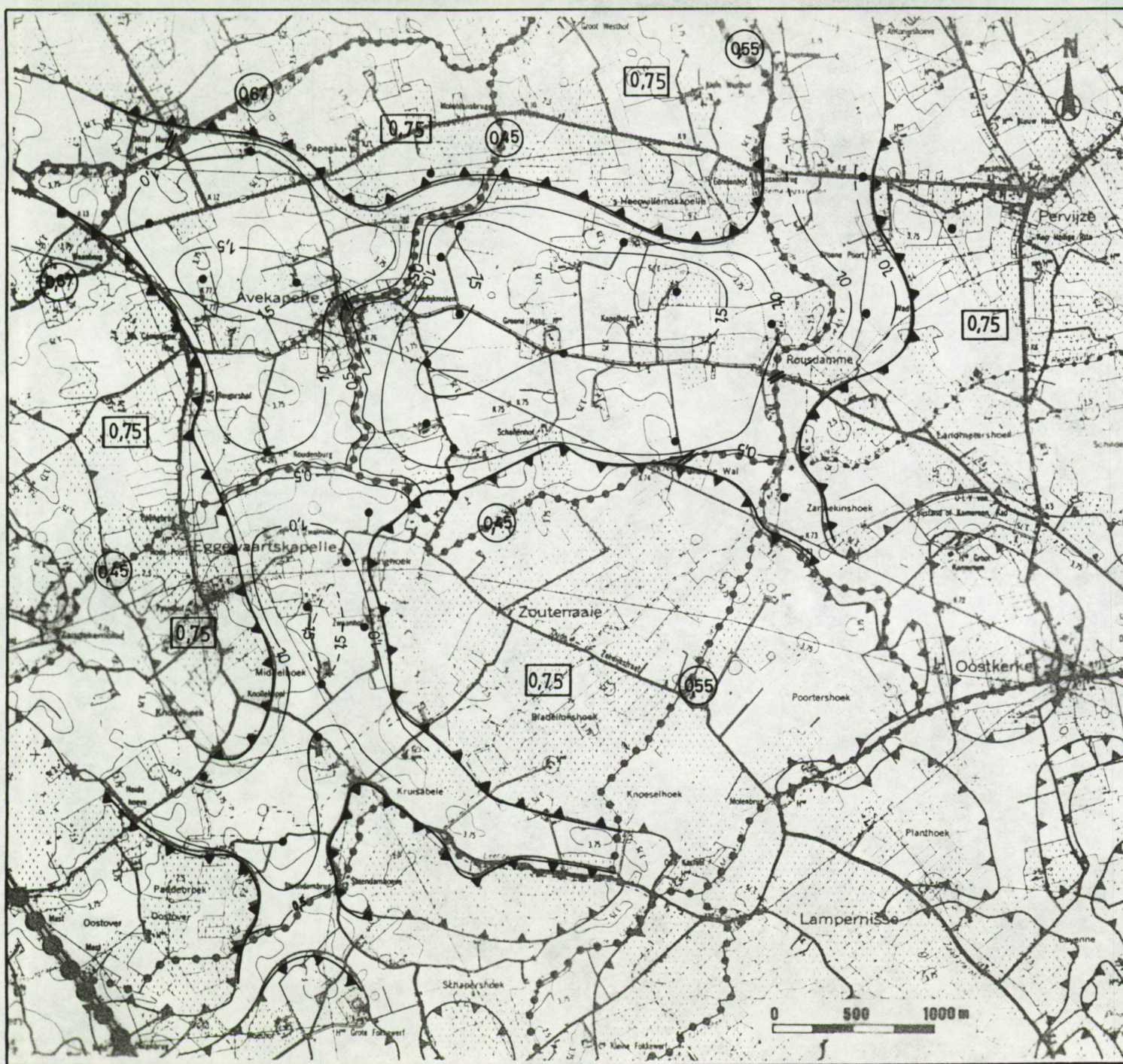
 boring met peilbuis + boorgatmeting + ontnaam grondwatermonster

 meetpunt oppervlaktewaterpeil


 gebied zonder oppervlakteveen (kreekrug)

PLAAT 4.3.

Ligging van de peilbuizen en meetpunten van het oppervlaktewaterpeil in het testgebied

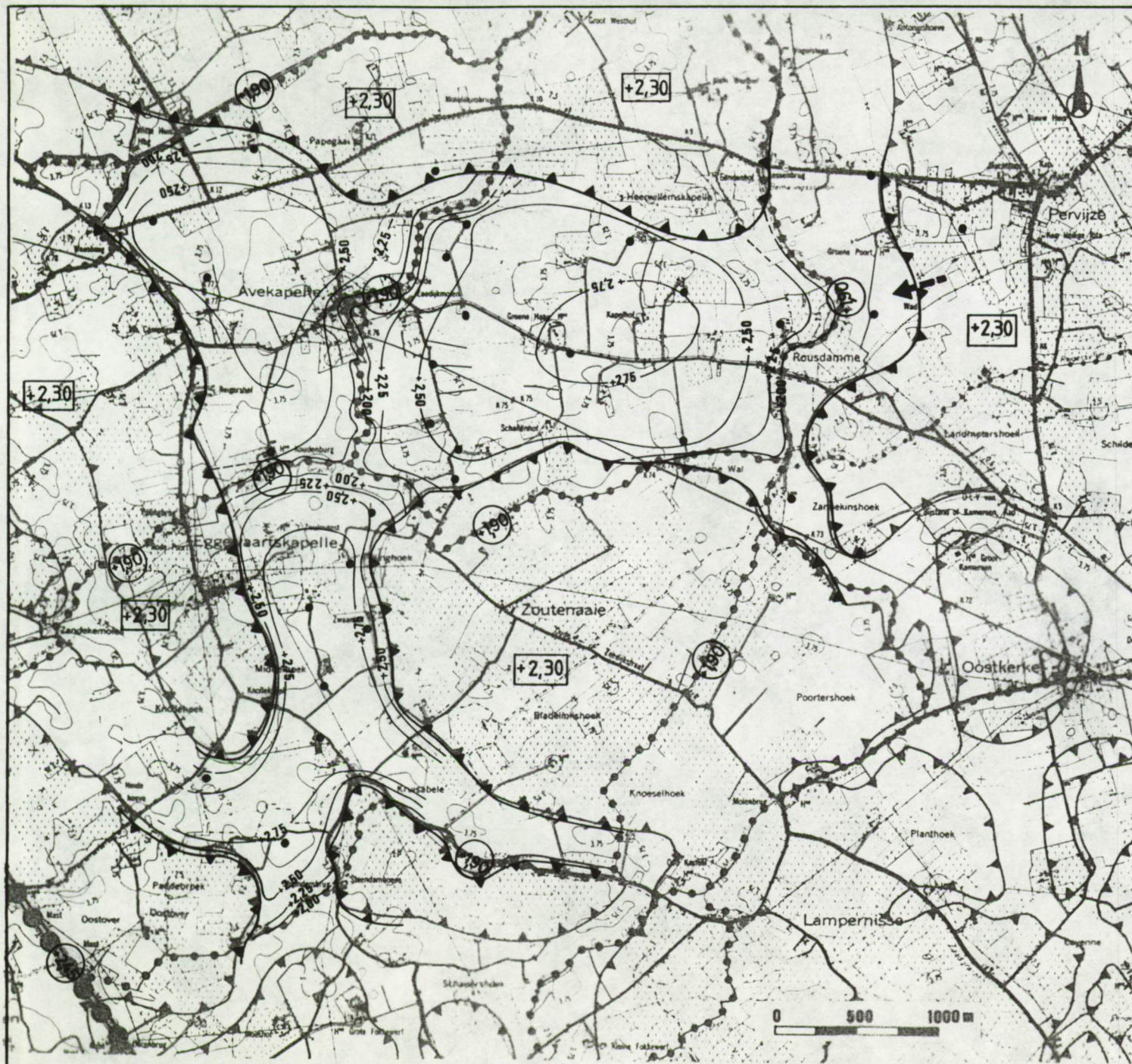


LEGENDE

- 1.0— lijn van gelijke maximale stijg-
hoogteschommeling
(gelijkhoogteverschil 0,50 m)
- 1.5— vermoedelijke lijn van gelijke
maximale stijghoogteschomme-
ling (gelijkhoogteverschil 0,50 m)
- 0.75 maximale stijghoogteschomme-
ling in de poelgronden
- 0.45 maximale peilvariatie van de
oppervlaktewaters
- peilbuis aangewend voor het
opmaken van de kaart
- // meetpunt oppervlaktewaterpeil
aangewend voor het opmaken
van de kaart
- afwateringskanaal
-  gebied zonder oppervlakte-
veen (kreekrug)

PLAAT 4.4.

Maximale stijghoogteschomme-
ling (verschil tussen maxi-
male en minimale stijghoogte)
in het testgebied

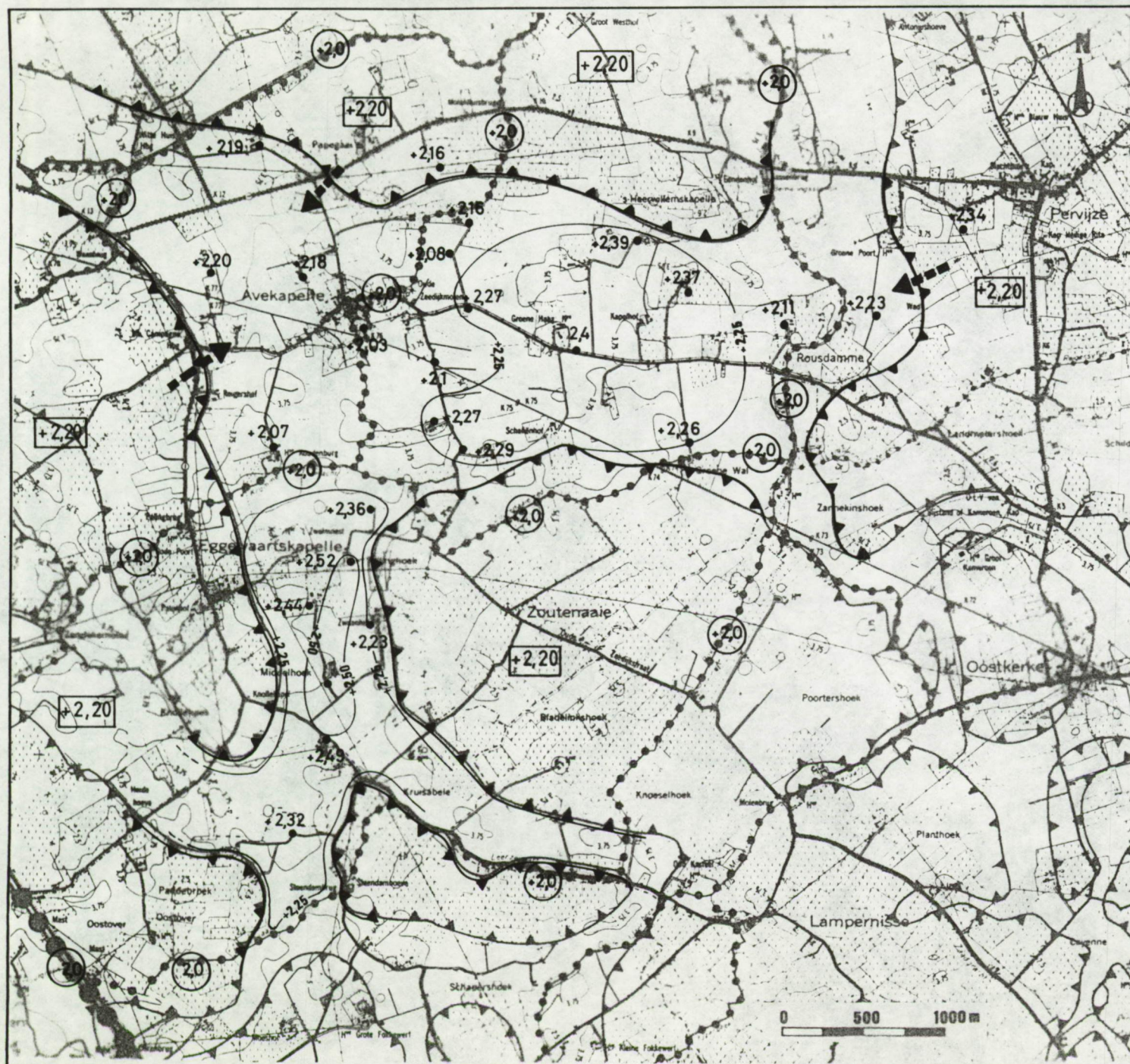


LEGENDE

- +2.75— lijn van gelijke zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil: 0,25)
- +2.75--- vermoedelijke lijn van gelijke
zoetwaterstijghoogte
(gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2.30 zoetwaterstijghoogte in de
poelgronden
- +1.90 peil oppervlaktewater
- stromingsrichting
- vermoedelijke stromingsrichting
- peilbuis aangewend bij het
opmaken van de kaart
- // meetpunt oppervlaktewater-
peil aangewend voor het
opmaken van de kaart
- afwateringskanaal
- gebied zonder oppervlakte-
veen (kreekrug)

PLAAT 4.5.

Gemiddelde zoetwaterstijghoogte
(periode april 1986/december 1989)
op het peil -1 ± 1.5 m TAW in
het testgebied.

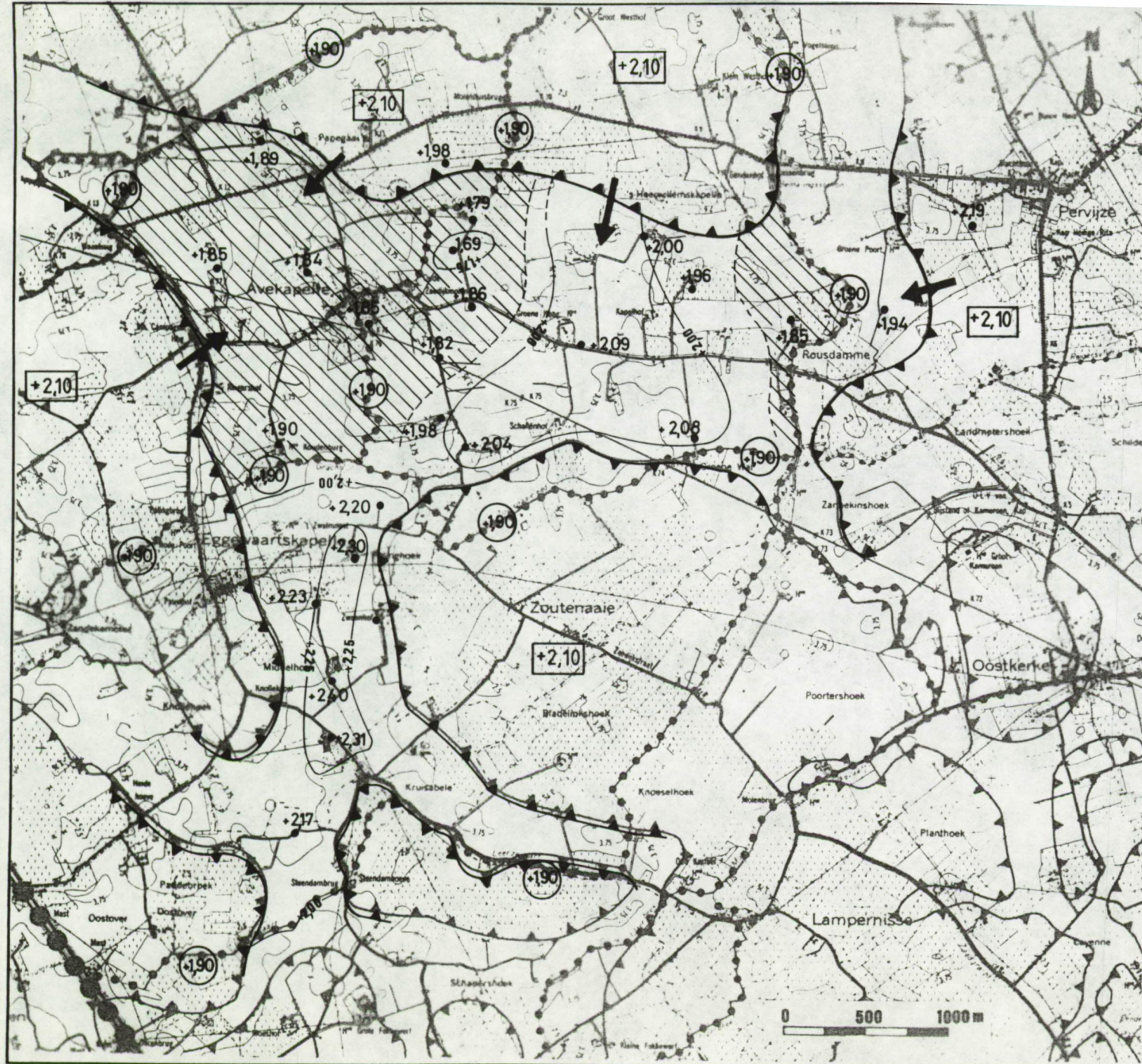


LEGENDE

- +2,25— lijn van gelijke zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2,25--- vermoedelijke lijn van gelijke
zoetwaterstijghoogte
(gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2,20 zoetwaterstijghoogte in de
poelgronden
- +2,0 peil oppervlaktewater
- stromingsrichting
- vermoedelijke stromingsrichting
- peilbuis aangewend bij het
opmaken van de kaart
- // meetpunt oppervlaktewater-
peil aangewend voor het
opmaken van de kaart
- afwateringskanaal
- ◡ gebied zonder oppervlakte-
veen (kreek rug)

PLAAT 4.7

Zoetwaterstijghoogte op 4 juli
op het peil $-1 \pm 1,5$ m TAW in
het testgebied.

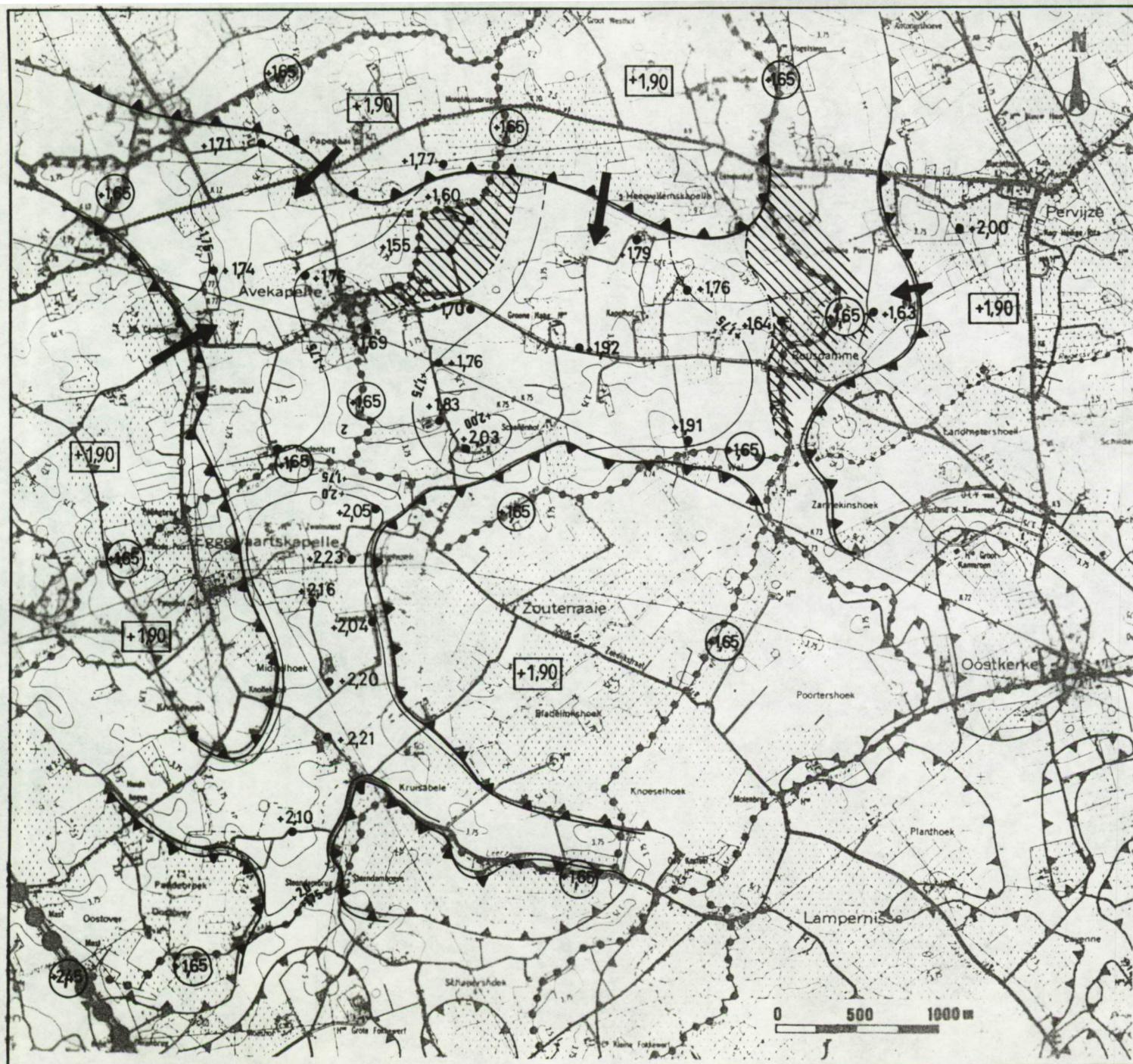


LEGENDE

- +2,25— lijn van gelijke zoetwaterstijghoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2,25----- vermoedelijke lijn van gelijke zoetwaterstijghoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2,10 zoetwaterstijghoogte in de poelgronden
- +1,90 peil oppervlaktewater
- stromingsrichting
- vermoedelijke stromingsrichting
- zone met een zoetwaterstijghoogte beneden het peil van de afwateringskanalen
- peilbuis aangewend bij het opmaken van de kaart
- // meetpunt oppervlaktewaterpeil aangewend bij het opmaken van de kaart
- afwateringskanaal
- gebied zonder oppervlakteveen (kreekrug)

PLAAT 4.8

Zoetwaterstijghoogte op 7 aug. 1986 op het peil $-1 \pm 1,5$ m TAW in het testgebied

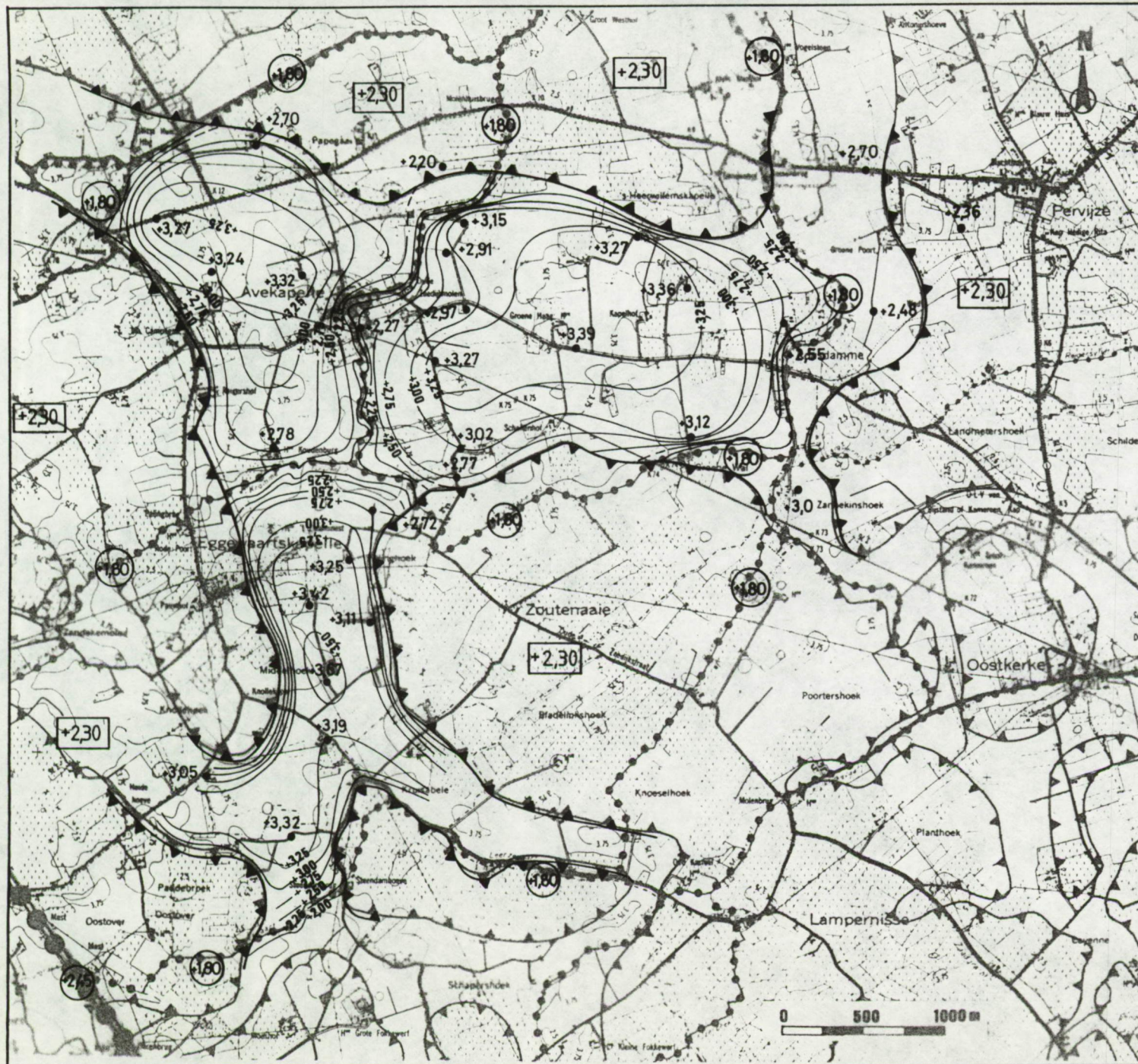


LEGENDE

- +1.75— lijn van gelijke zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- +1.75--- vermoedelijke lijn van gelijke
zoetwaterstijghoogte
(gelijkhoogteverschil 0,25)
- +1.90 zoetwaterstijghoogte in de
poelgronden
- 1.65 peil oppervlaktewater
- stromingsrichting
- vermoedelijke stromingsrichting
- zone met een zoetwaterstijg-
hoogte beneden het peil van
de afwateringskanalen
- peilbuis aangewend bij het
opmaken van de kaart
- meetpunt oppervlaktewater-
peil aangewend bij het op-
maken van de kaart
- afwateringskanaal
- gebied zonder oppervlakte-
veen (kreekrug)

PLAAT 4.9

Zoetwaterstijghoogte op
3 oktober 1986 op het peil
-1±1,5m TAW in het testgebied

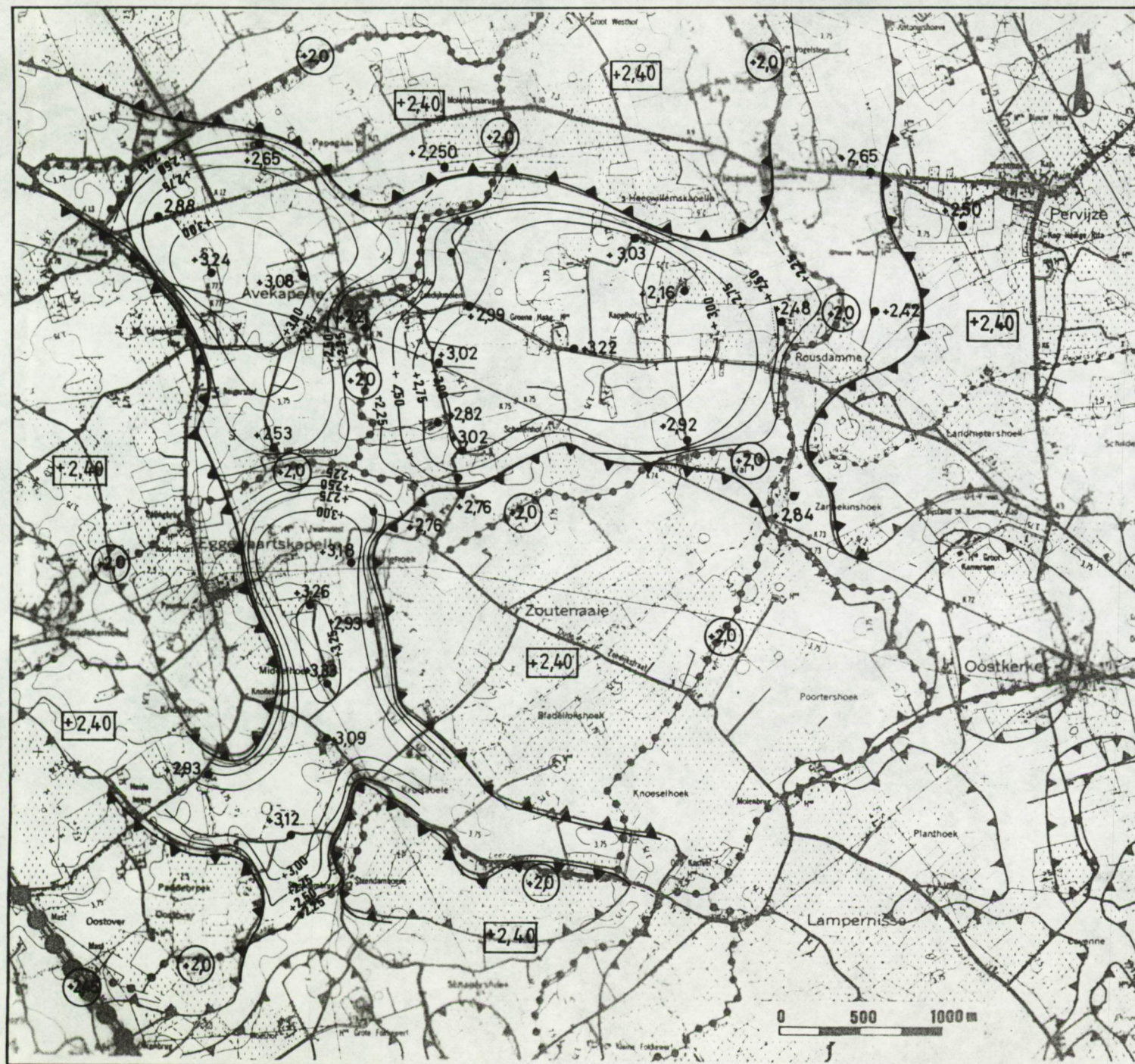


LEGENDE

- +3,00— lijn van gelijke zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- - -+3,00 - - - vermoedelijke lijn van gelijke
zoetwaterstijghoogte
(gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2,30 zoetwaterstijghoogte in de
poelgronden
- +1,80 peil oppervlaktewater
- ➔ stromingsrichting
- - ➔ vermoedelijke stromingsrichting
- peilbuis aangewend bij het
opmaken van de kaart
- // meetpunt oppervlaktewaterpeil
aangewend bij het opmaken
van de kaart
- afwateringskanaal
- gebied zonder oppervlakte-
veen (kreekrug)

PLAAT 4.10

Zoetwaterstijghoogte op
8 januari 1987 op het peil
-1 ± 1,5m TAW in het
testgebied

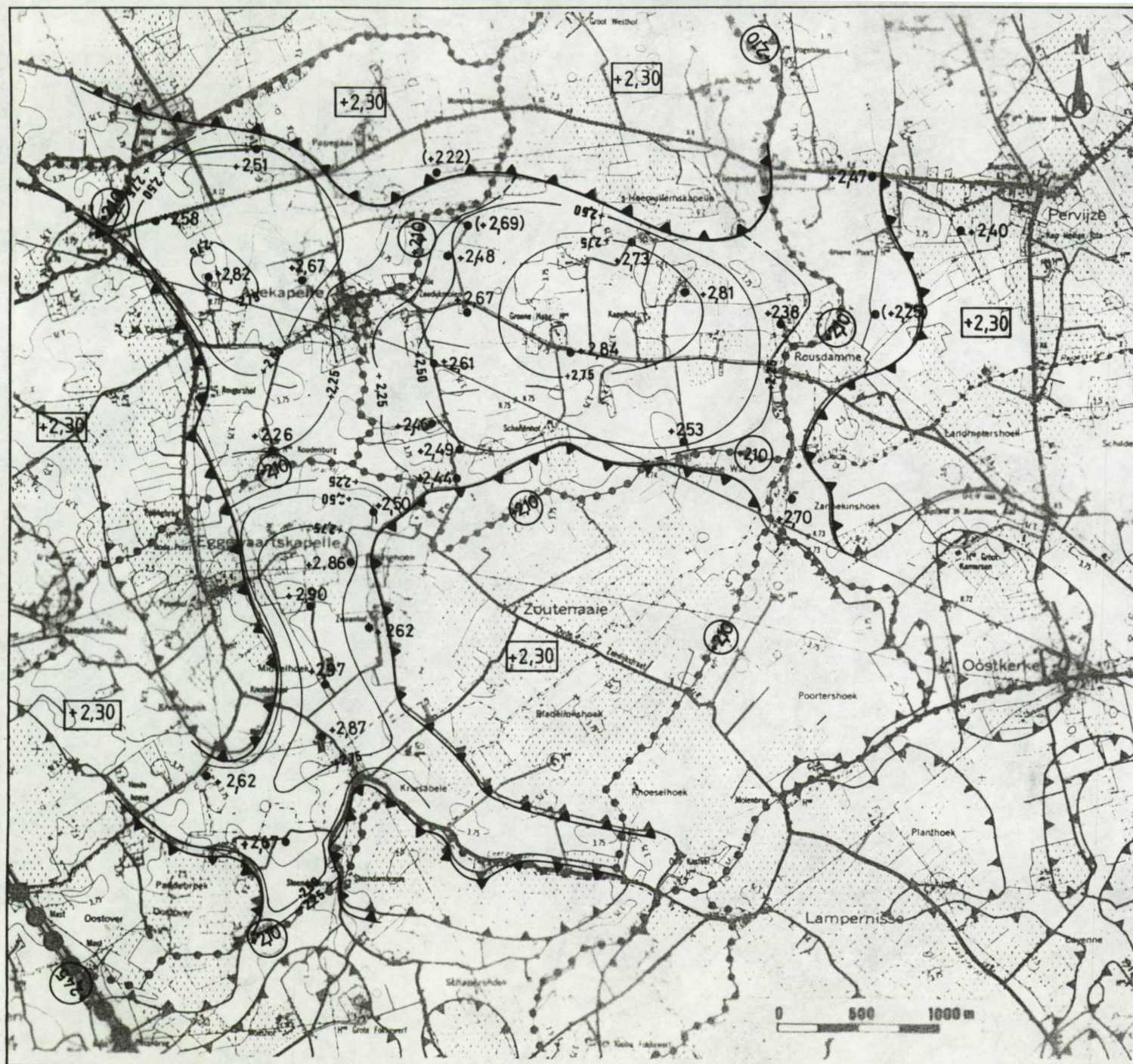


LEGENDE

- +300— lijn van gelijke zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- - -300 - - - vermoedelijke lijn van gelijke
zoetwaterstijghoogte
(gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2,40 zoetwaterstijghoogte in de
poelgronden
- +2,0 peil oppervlaktewater
- ➔ stromingsrichting
- - ➔ vermoedelijke stromingsrichting
- peilbuis aangewend bij het
opmaken van de kaart
- // meetpunt oppervlaktewater-
peil aangewend bij het op-
maken van de kaart
- afwateringskanaal
- gebied zonder oppervlakte-
veen (kreekrug)

PLAAT 4.11

Zoetwaterstijghoogte op 6 april
1987 op het peil $-1 \pm 1,5$ m TAW
in het testgebied.



LEGENDE

- +2,75— lijn van gelijke zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2,75--- vermoedelijke lijn van gelijke
zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2,30 zoetwaterstijg-
hoogte in de
poelgronden
- +2,10 peil oppervlaktewater
- stromingsrichting
- vermoedelijke stromingsrichting
- peilbuis aangewend bij het
opmaken van de kaart
- // meetpunt oppervlaktewater-
peil aangewend bij het
opmaken van de kaart
- afwateringskanaal
- ◊ gebied zonder oppervlakte-
veen (kreekrug)

PLAAT 4.12.

Zoetwaterstijg-
hoogte op 7 juli
1987 op het peil $-1 \pm 1,5$ m TAW
in het testgebied



LEGENDE

- +300— lijn van gelijke zoetwaterstijg-
hoogte (gelijkhoogteverschil 0,25)
- +300--- vermoedelijke lijn van gelijke
zoetwaterstijghoogte
(gelijkhoogteverschil 0,25)
- +2,55 zoetwaterstijghoogte in de
poelgronden
- +1,75 peil oppervlaktewater
- stromingsrichting
- vermoedelijke stromingsrichting
- peilbuis aangewend bij het
opmaken van de kaart
- // meetpunt oppervlaktewater-
peil aangewend bij het
opmaken van de kaart
- afwateringskanaal
- gebied zonder oppervlakte-
veen (kreekrug)

PLAAT 4.13

Zoetwaterstijghoogte op 20
oktober 1987 op het peil
-1 ±15m TAW in het testgebied

LEGENDE



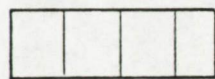
$< 1\%$



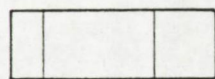
$1\% < P_f < 50\%$



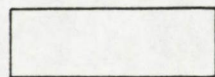
$50\% < P_f < 84\%$



$84\% < P_f < 95\%$

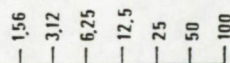


$95\% < P_f < 99\%$

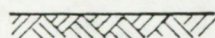
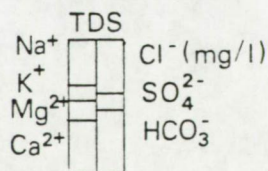


$P_f > 99\%$

P_f zoetwaterpercentage



$\rho_t (\Omega m)$



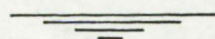
maaiveld



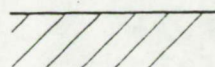
filter van peilbuis



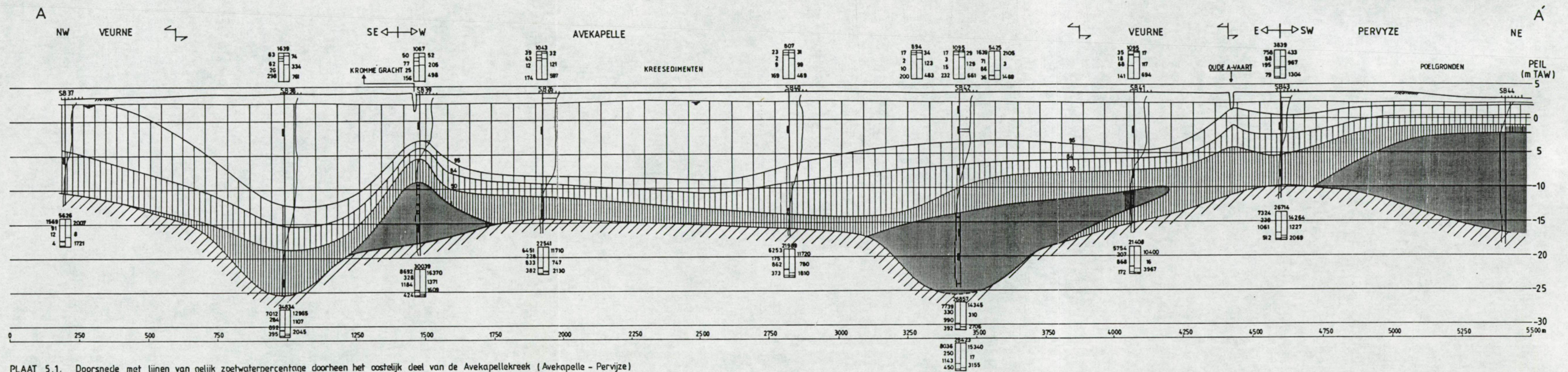
waterstaal verkregen met
extractietoestel

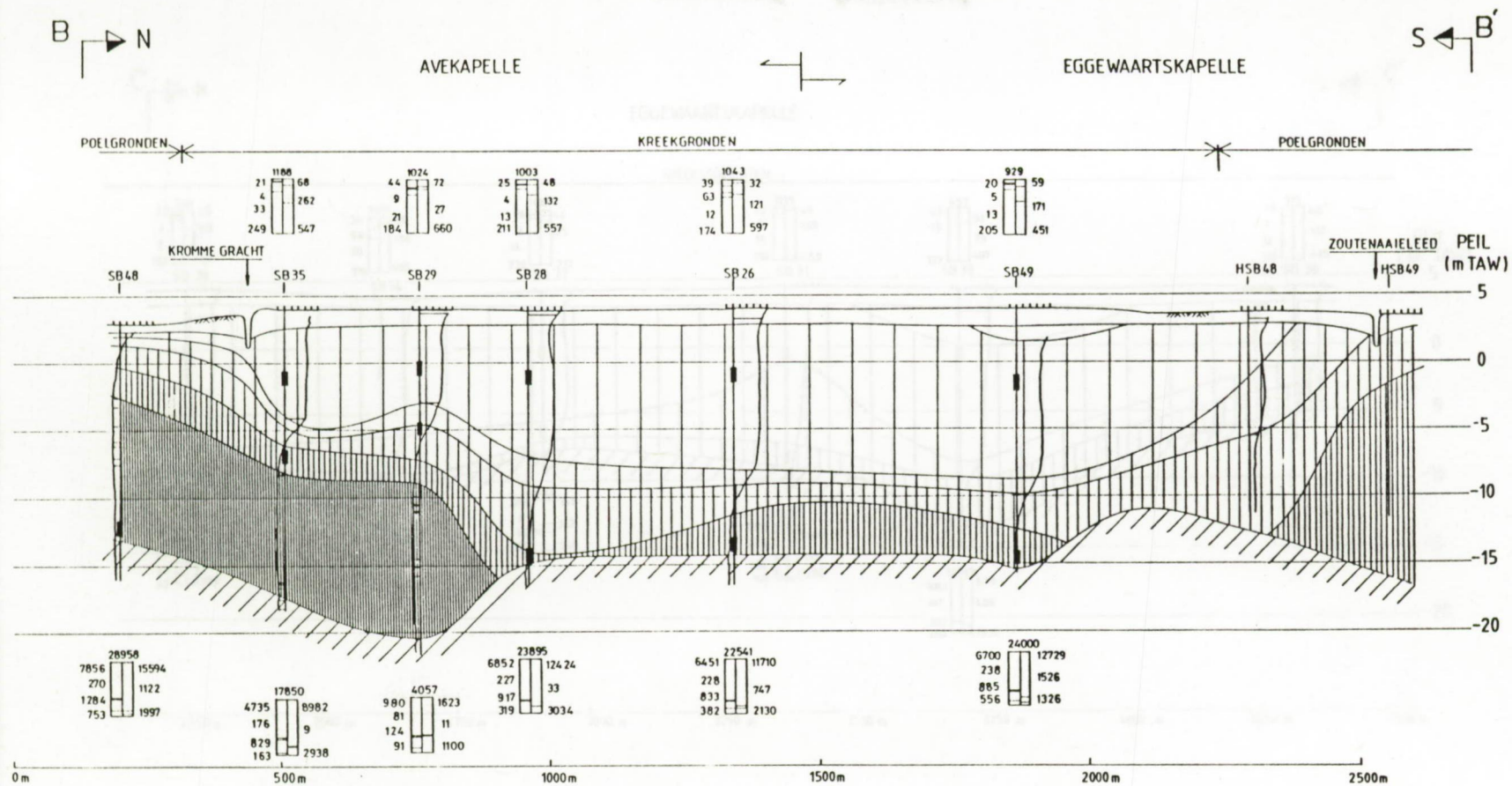


watertafel

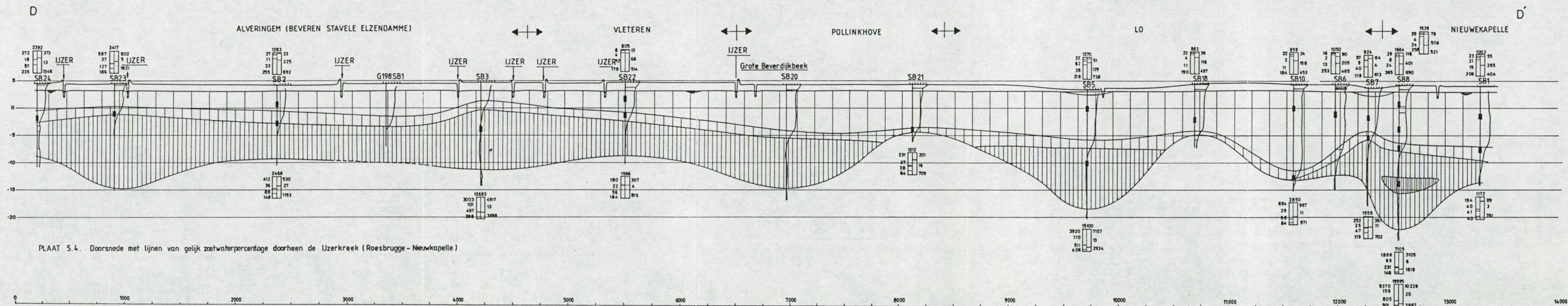


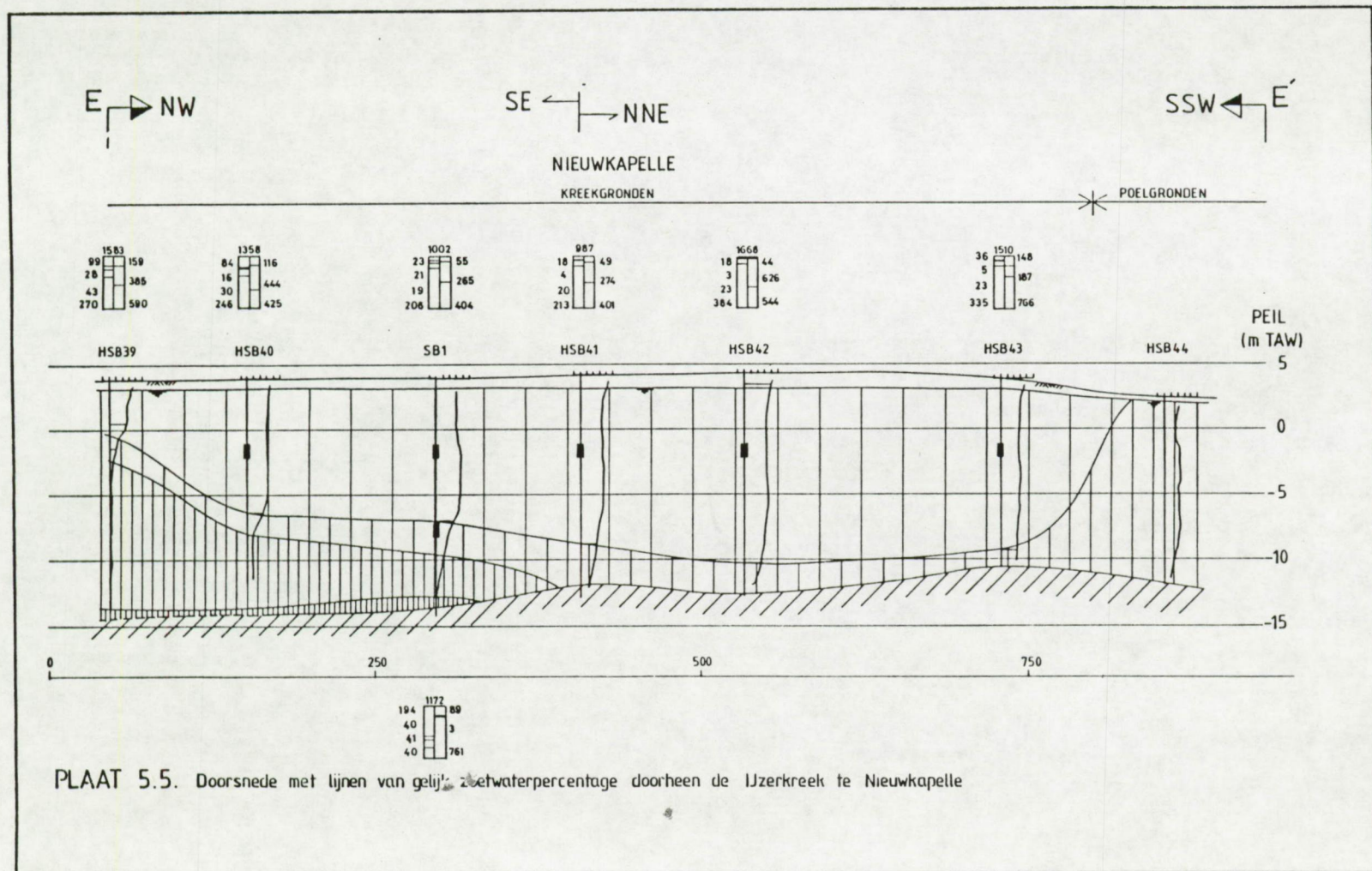
ondoorlatend substraat





PLAAT 5.2. Doorsnede met lijnen van gelijk zoetwaterpercentage doorheen de Avekapellekreek te Avekapelle





PLAAT 5.5. Doorsnede met lijnen van gelijk zetwaterpercentage doorheen de IJzerkreek te Nieuwkapelle

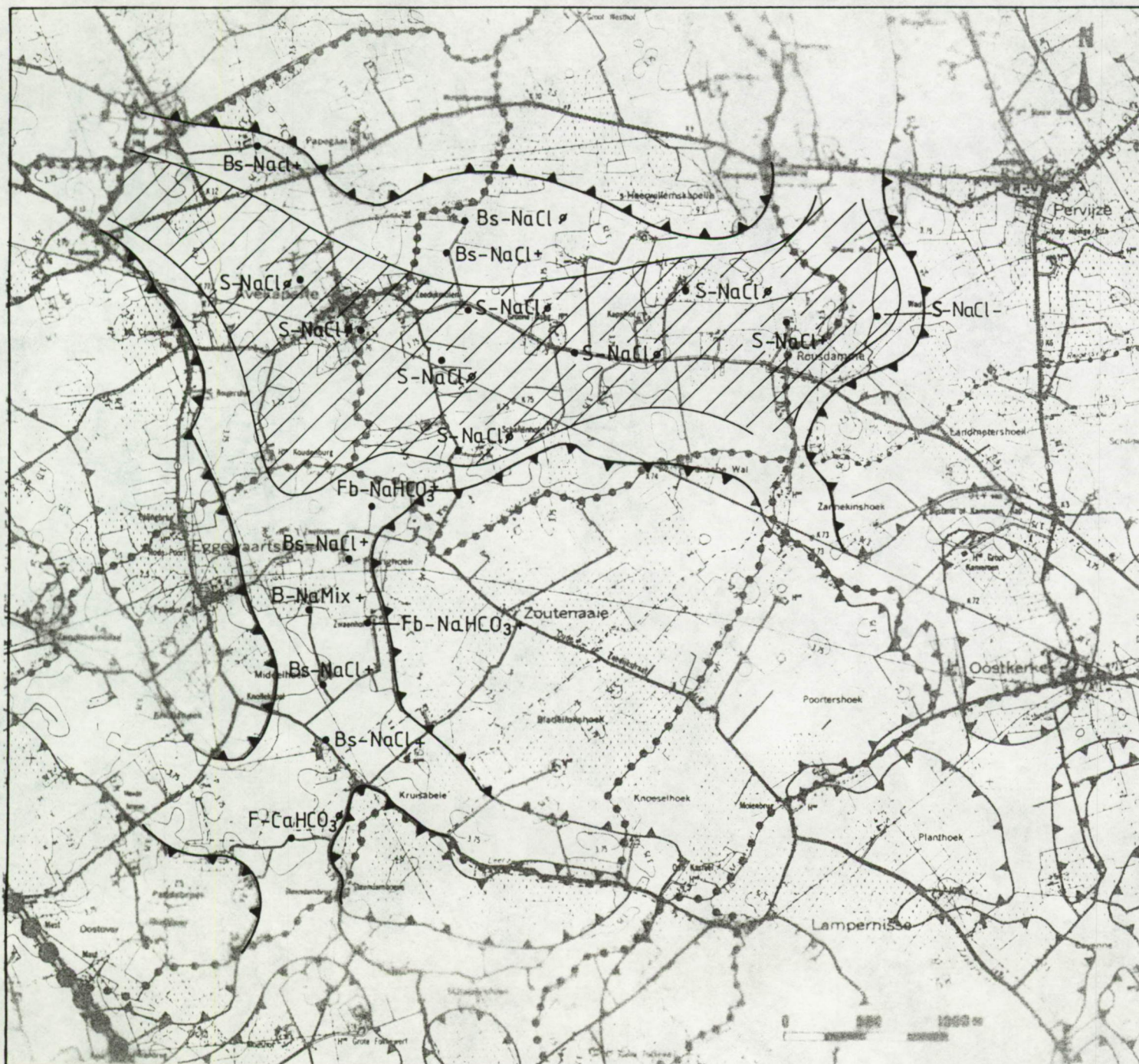


LEGENDE

- F-CaHCO₃ watertype volgens Stuyfzand
- peilbuis in de topzone van de Avekapellekreek (<6m diepte)
- gebied zonder oppervlakteveen (kreeksedimenten)

PLAAT 5.8.

Verspreiding van de watertypes volgens Stuyfzand in de topzone van de Avekapellekreek (peil -1 ± 1 m TAW)



LEGENDE

- $S-NaCl+$ watertype volgens Stuyfzand
- peilbuis in basiszone van de Avekapellekreek
- zone waarbinnen zout grondwater (S-type) voorkomt
- gebied zonder oppervlakte-veen (kreeksedimenten)

PLAAT 5.9.

Verspreiding van de watertypes volgens Stuyfzand in de basiszone van de Avekapellekreek





LEGENDE

- peilbuis in de basiszone van de IJzerkreek
- B- NaHCO_3 watertype volgens Stuyfzand
- begrenzing van de kustvlakte
- IJzerkreek

PLAAT 5.11.
Verspreiding van de watertypes
volgens Stuyfzand in de basis-
zone van de IJzerkreek






LEGENDE

-  Fe^{tot} gehalte van het grondwater
Elk vakje stemt overeen met een diepteinterval van 5m
- Boring met ontnaam van een grondwatermonster
-  Gebied zonder oppervlakteveen (Avekapellekreek)

PLAAT 5.12.
Variatie van het Fe^{tot} gehalte
met de diepte in de Ave-
kapellekreek



LEGENDE




-  NH_4^+ gehalte van het grondwater
Elk vakje stemt overeen met een diepteinterval van 5 m
-  Boring met ontnaam van een grondwatermonster
-  Gebied zonder oppervlakteveen

PLAAT 5.13

Variatie van het NH_4^+ gehalte met de diepte in de Ave - kapellekreek



LEGENDE

-  NO_3^- gehalte van het grondwater
Elk vakje stemt overeen met een diepteinterval van 5 m
-  Boring met ontnaam van een grondwatermonster
-  Gebied zonder oppervlakteveen

PLAAT 5.14

Variatie van het NO_3^- gehalte met de diepte in de Avekapellekreek



LEGENDE



Po_4^{3-} gehalte van het grondwater
Elk vakje stemt overeen met een diepteinterval van 5m



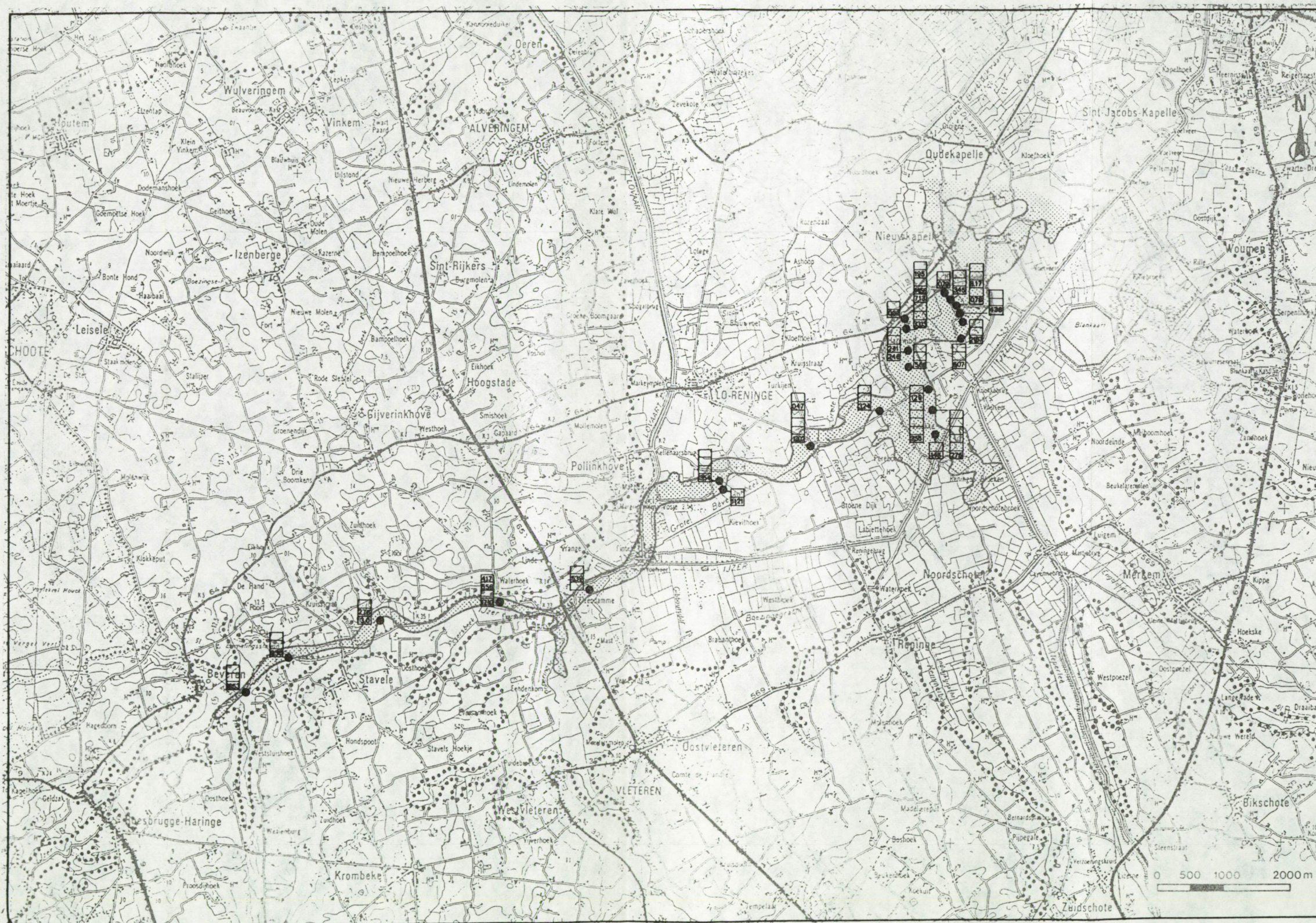
Boring met ontnaam van een grondwatermonster



Gebied zonder oppervlakte veen

PLAAT 5.15

Variatie van het Po_4^{3-} gehalte met de diepte in de Ave - kapellekreek



LEGENDE

- 20 Fe^{tot} gehalte van het grondwater
Elk vakje stemt overeen met een diepteinterval van 5 m
- Boring met ontnaam van een grondwatermonster
- IJzerkreek
- Begrenzing van de kustvlakte

PLAAT 5.16
Variatie van het Fe^{tot} gehalte met de diepte in de IJzerkreek



LEGENDE

- NH₄⁺ gehalte van het grondwater
Elk vakje stemt overeen met een diepteinterval van 5m
- Boring met ontnaam van een grondwatermonster
- IJzerkreek
- Begrenzing van de kustvlakte

PLAAT 5.17

Variatie van het NH₄⁺- gehalte met de diepte in de IJzerkreek

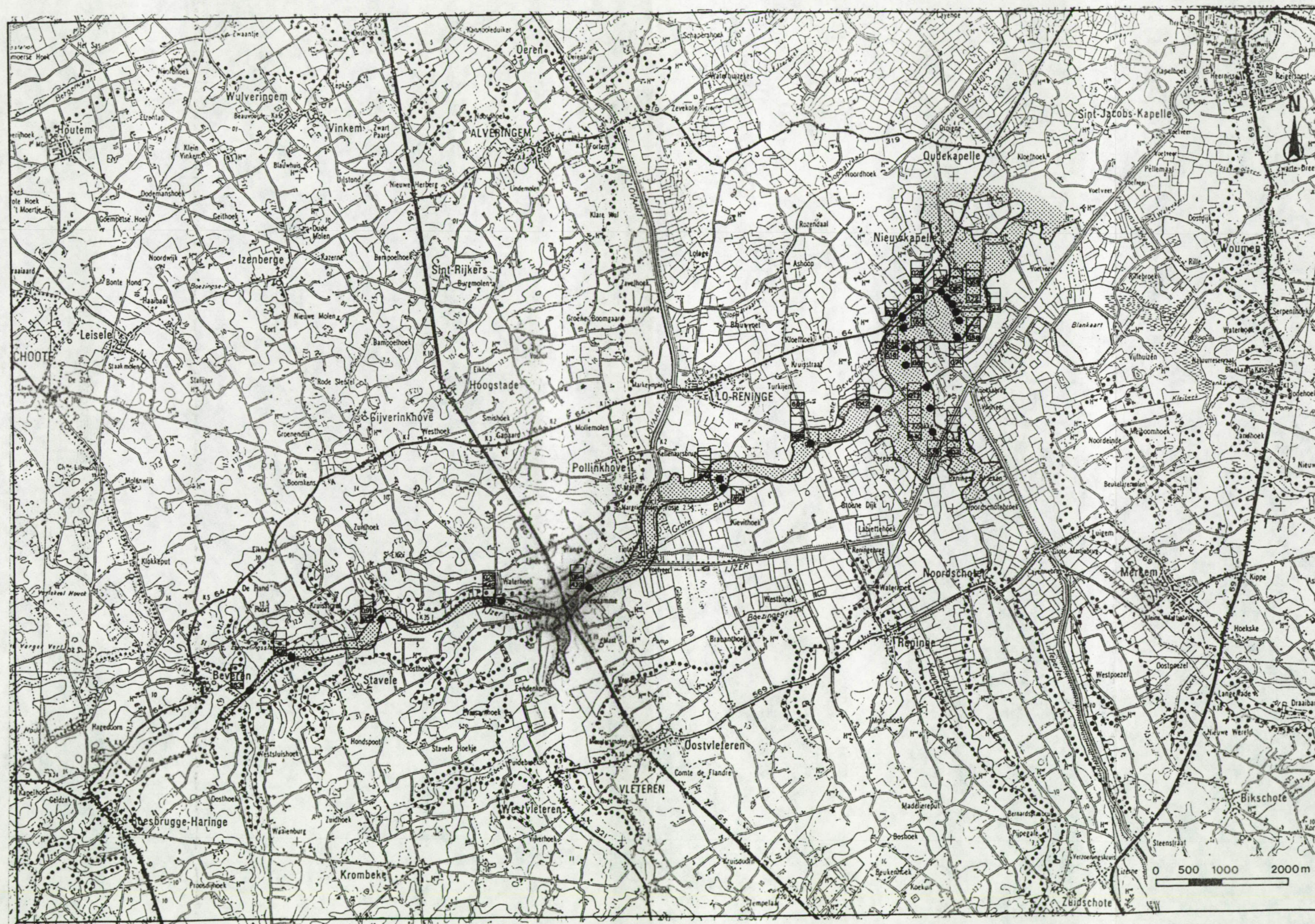


LEGENDE

- 20 NO_3^- gehalte van het grondwater
Elk vakje stemt overeen met
een diepteinterval van 5 m
- Boring met onname van een
grondwatermonster
- IJzerkreek
- Begrenzing van de kustvlakte

PLAAT 5.18

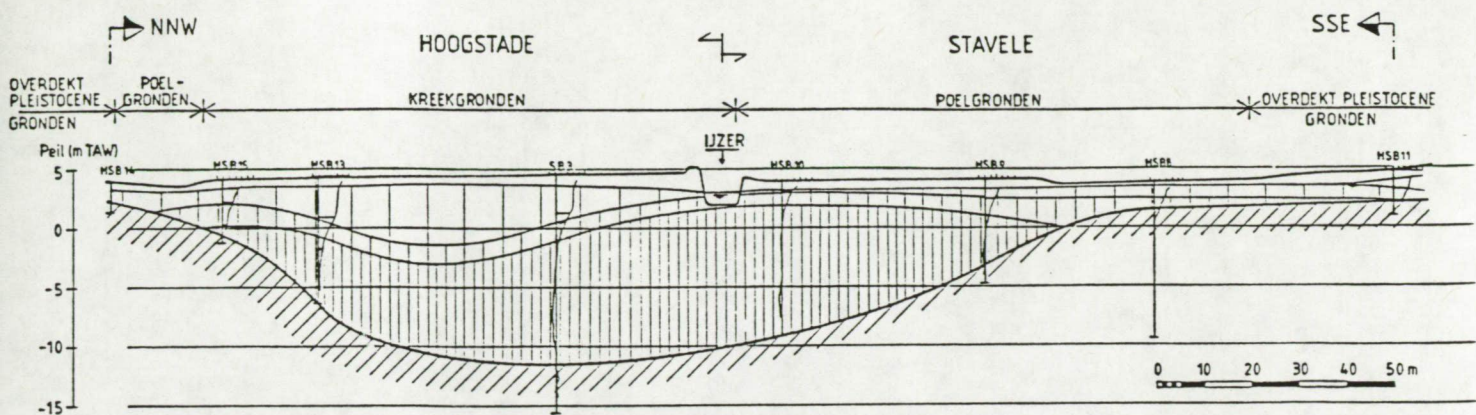
Variatie van het NO_3^- gehalte
met de diepte in de IJzerkreek



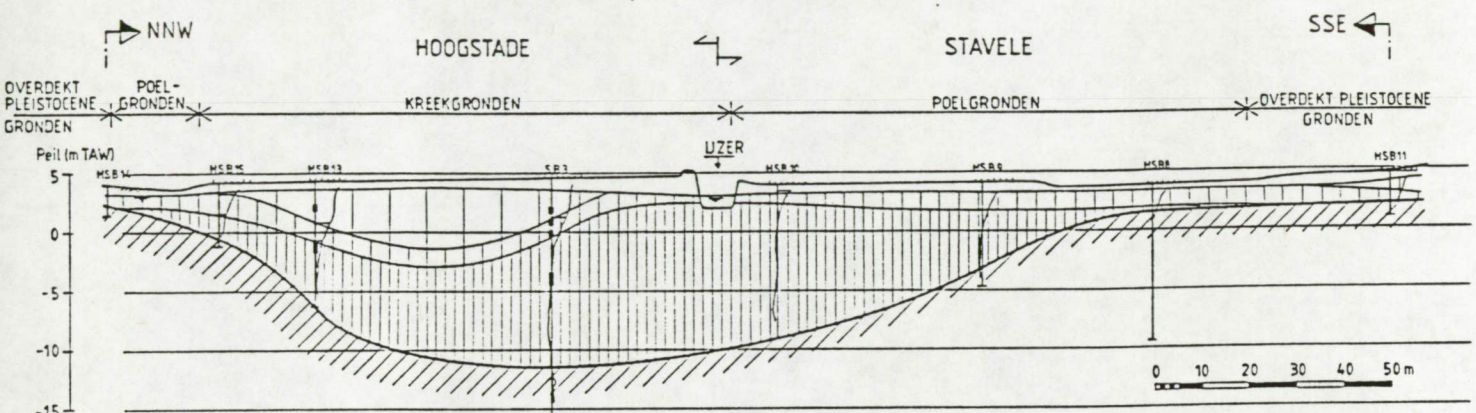
LEGENDE

- 20 PO_4^{3-} gehalte van het grondwater
Elk vakje stemt overeen met een diepteinterval van 5 m
- Boring met ontnaam van een grondwatermonster
- IJzerkreek
- Begrenzing van de kustvlakte

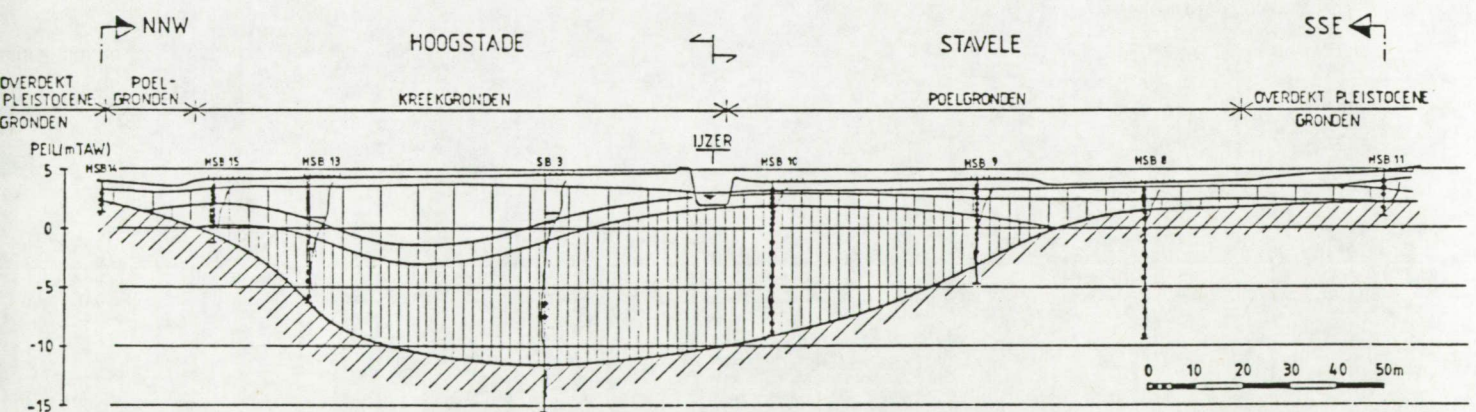
PLAAT 5.19
Variatie van het PO_4^{3-} gehalte met de diepte in de IJzerkreek



Doorsnede A: lijnen van gelijk zoetwaterpercentage, rechtstreeks afgeleid van TDS-waarden van geextraheerde porienwaters



Doorsnede B: lijnen van gelijk zoetwaterpercentage, afgeleid met behulp van de formule van ARCHIE

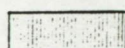


Doorsnede C: lijnen van gelijk zoetwaterpercentage, afgeleid met behulp van de nieuw opgestelde relatie

PLAAT 5.20

Kontrolle van de juistheid van het afgeleide verband tussen het totale zoutgehalte TDS en de formatie-resistiviteit ρ_t

LEGENDE



< 1%

1% < P_i < 50%

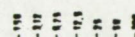
50% < P_i < 84%

84% < P_i < 95%

95% < P_i < 99%

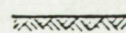
P_i > 99%

P_i zoetwaterpercentage



ρ_t (Ω m)

TDS
Na⁺ Cl⁻ (mg/l)
K⁺ SO₄²⁻
Mg²⁺ HCO₃⁻
Ca²⁺

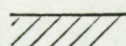


maaiveld

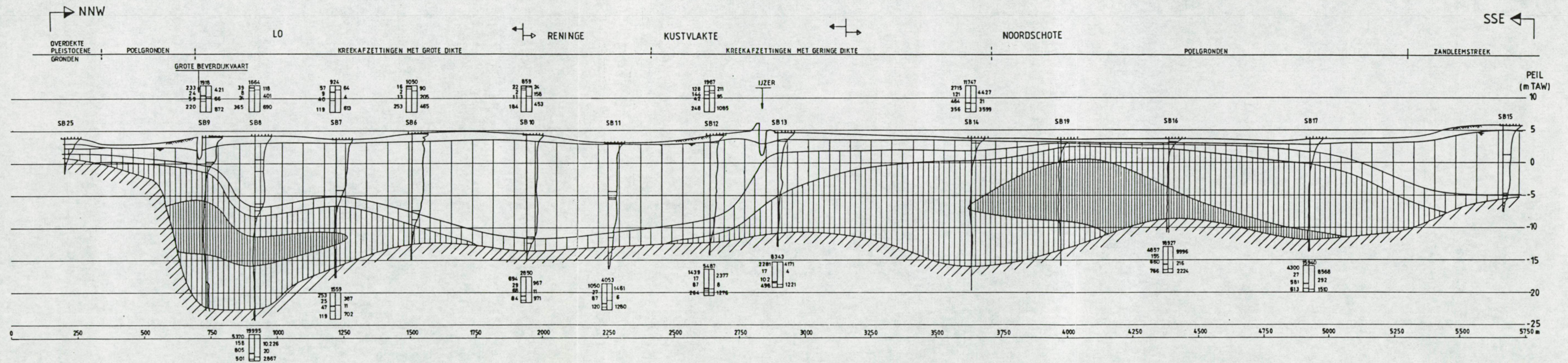
filter van peilbuis

waterstaal verkregen met extractietoestel

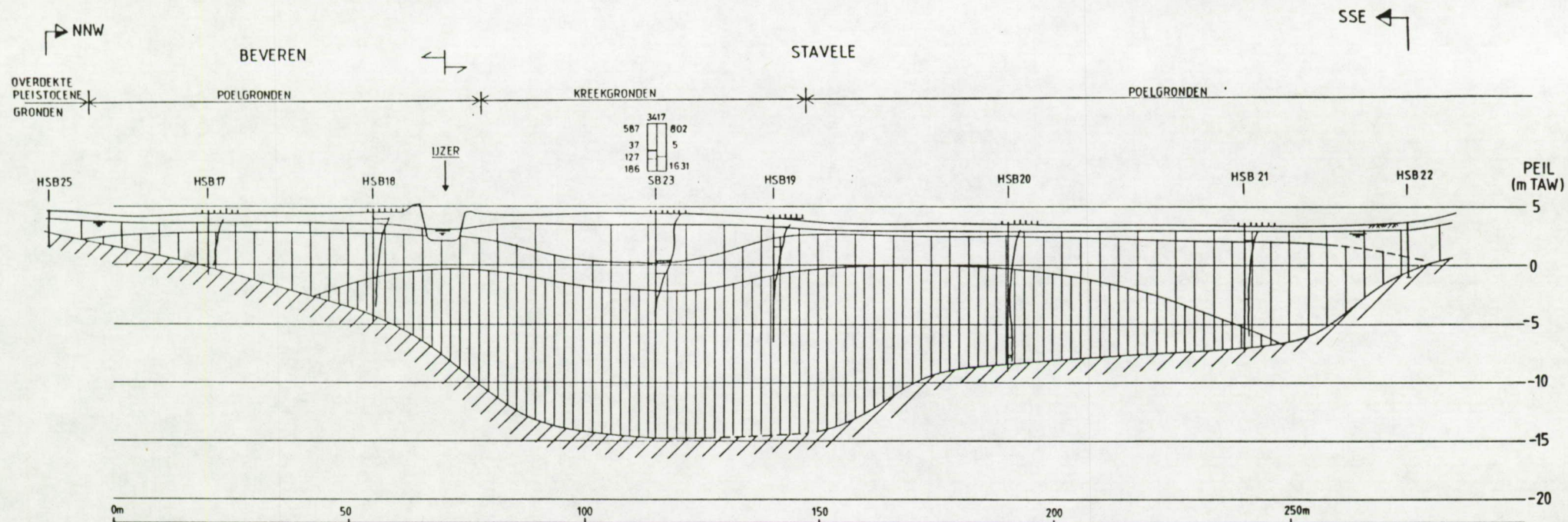
watertafel



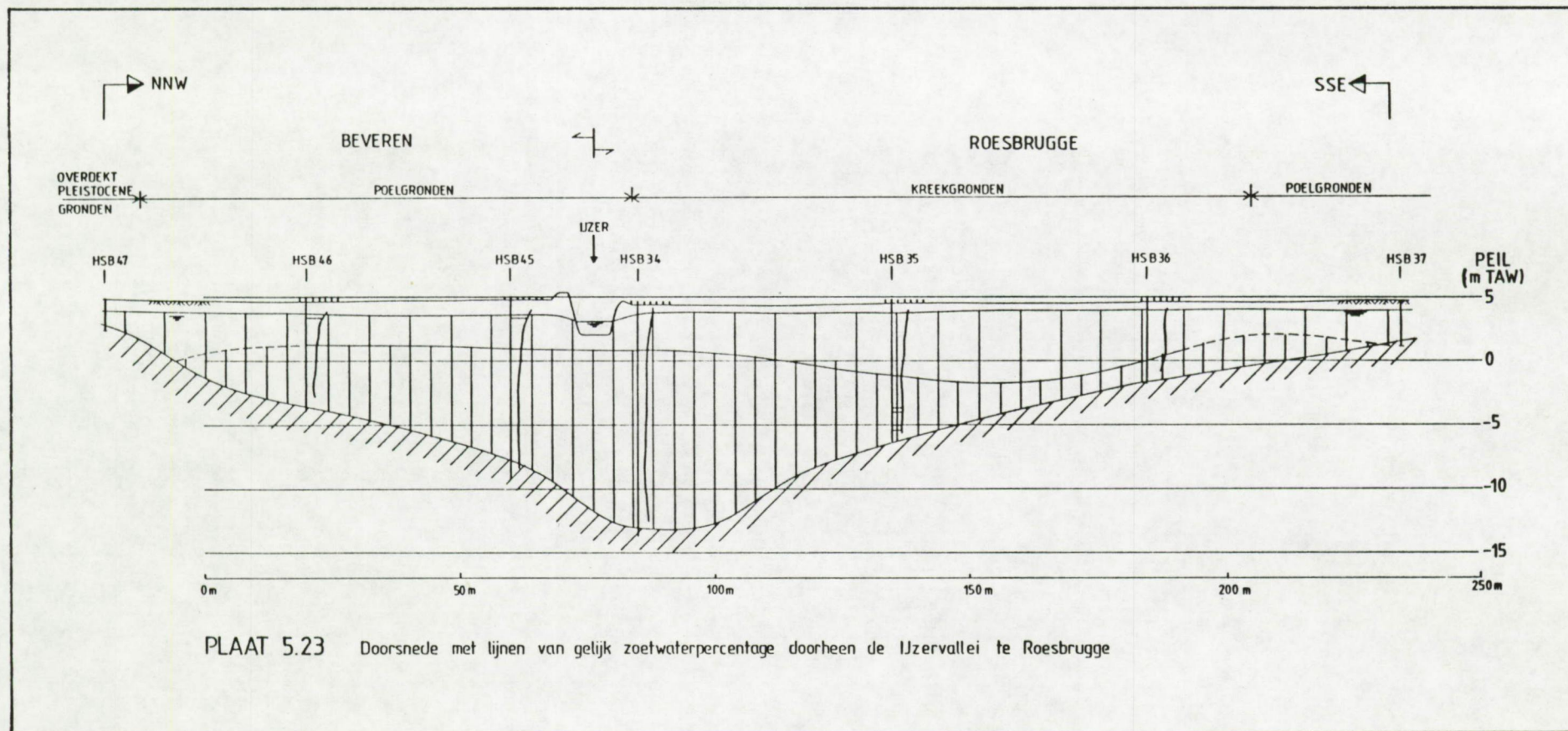
ondoorlatend substraat

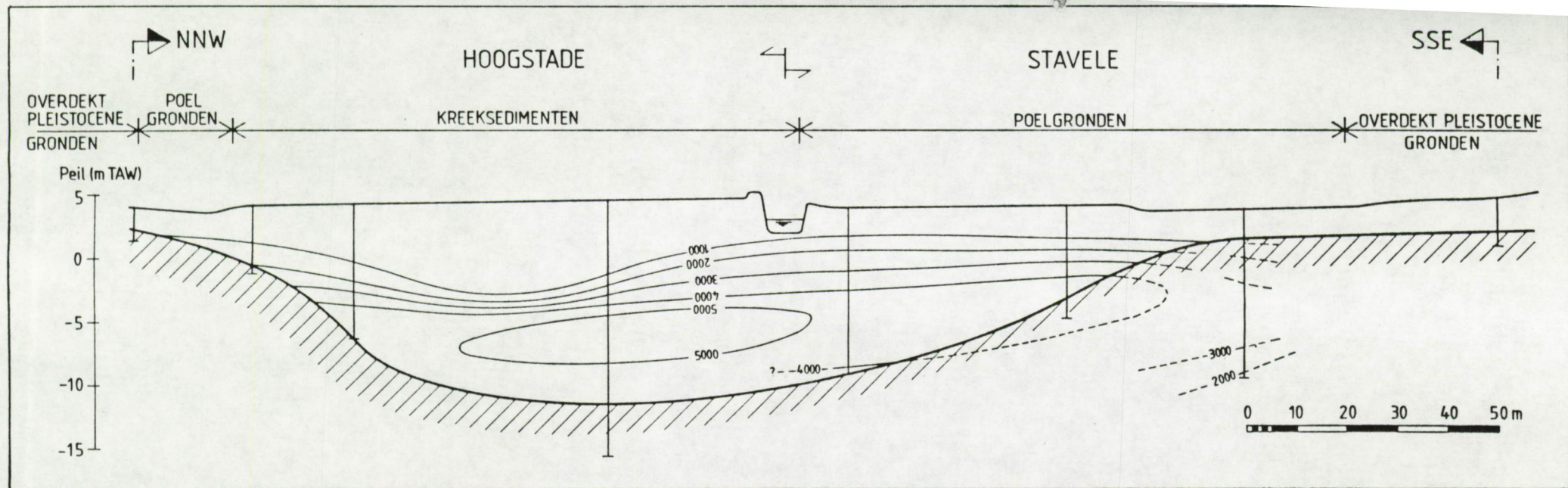


PLAAT 5.21 Doorsnede met lijnen van gelijk zoetwaterpercentage doorheen de IJzervlakte rond Noordschote

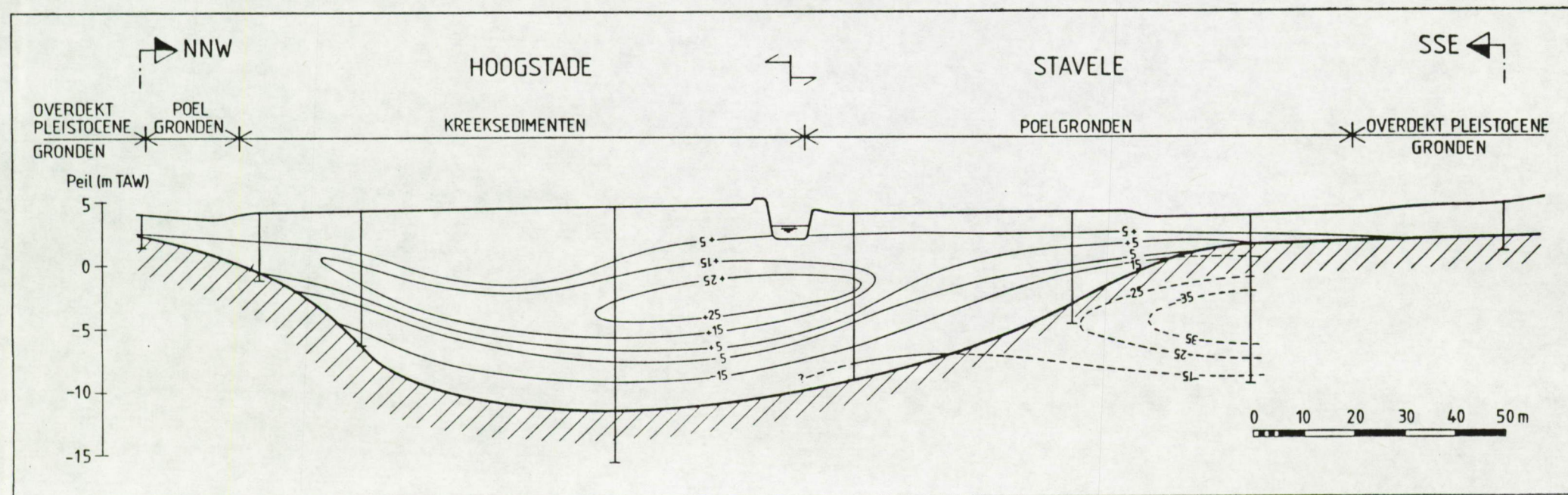


PLAAT 5.22 Doorsnede met lijnen van gelijk zoetwaterpercentage doorheen de IJzervallei te Stavele

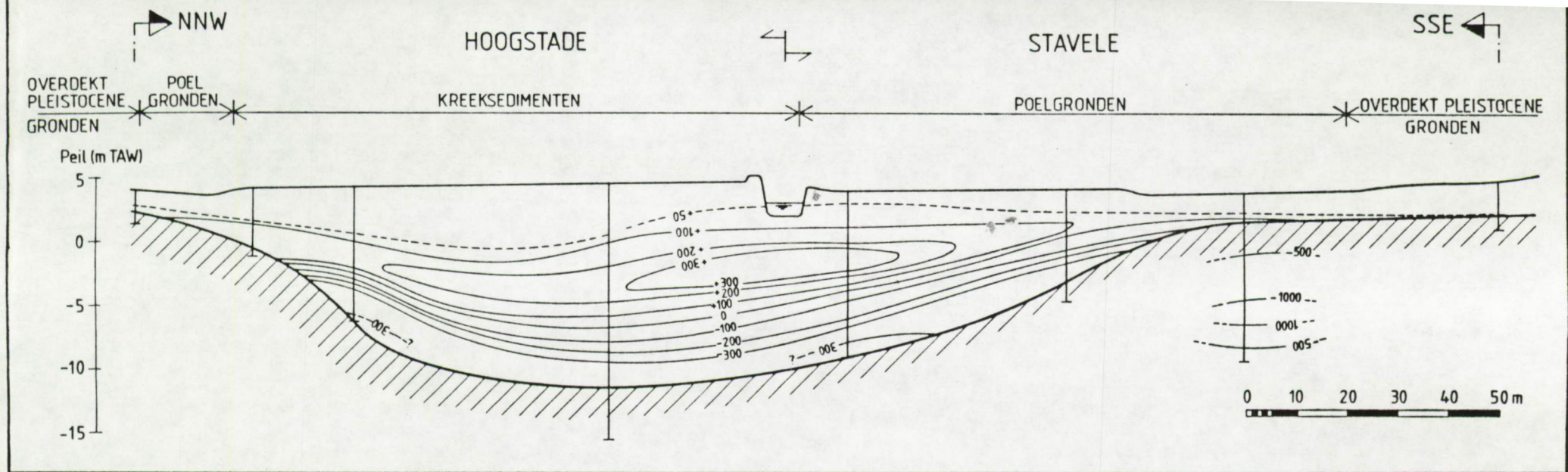




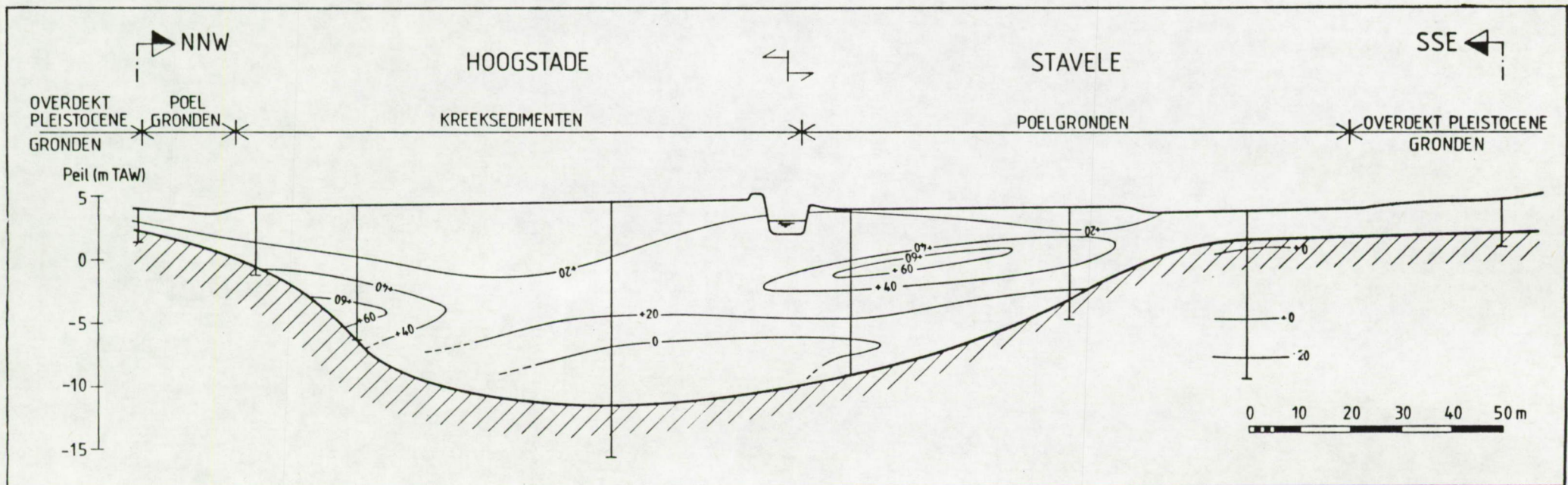
Plaat 5.25: Variatie van het Cl-gehalte in de IJzervallei te Elzendamme.



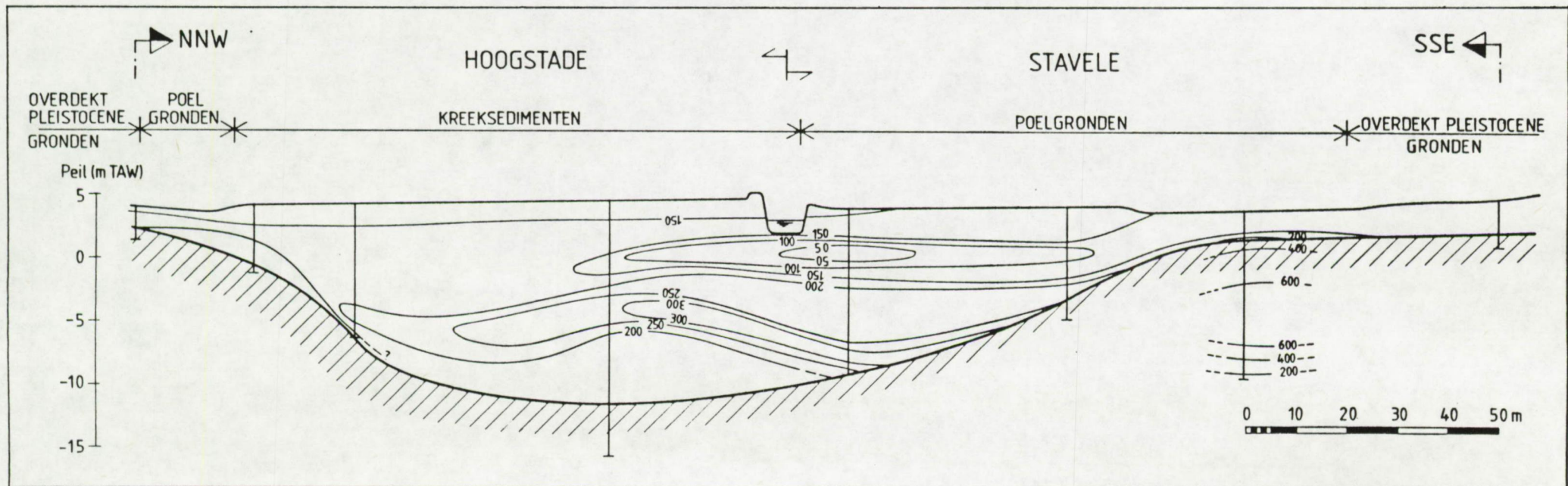
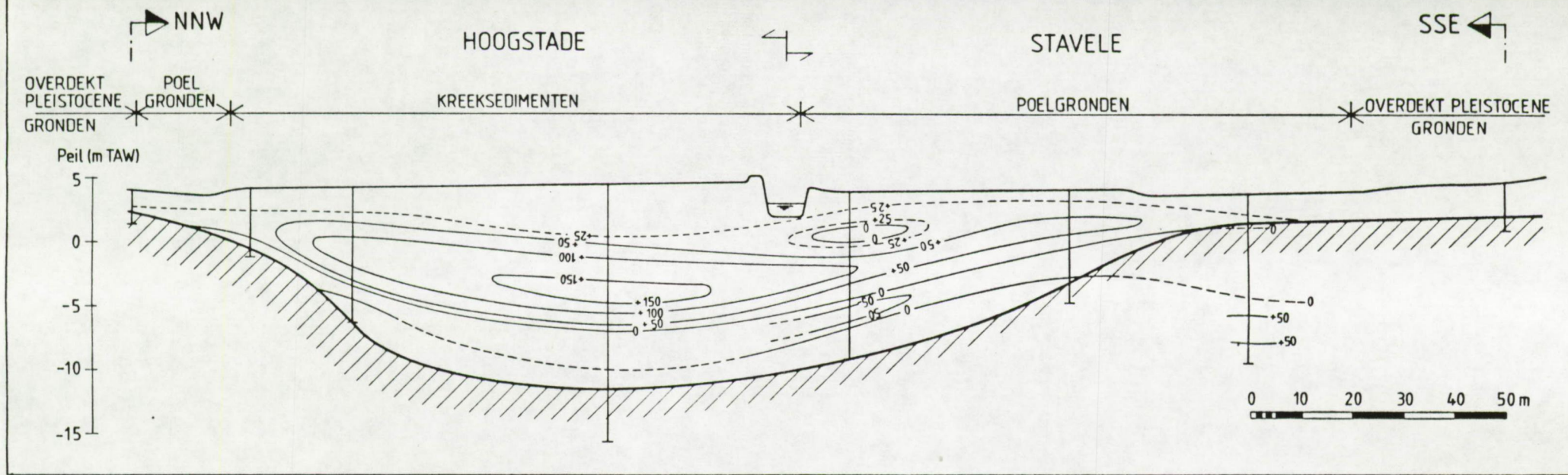
Plaat 5.26 : Variatie van de kationuitwisselingsparameter in de IJzervallei te Elzendamme.

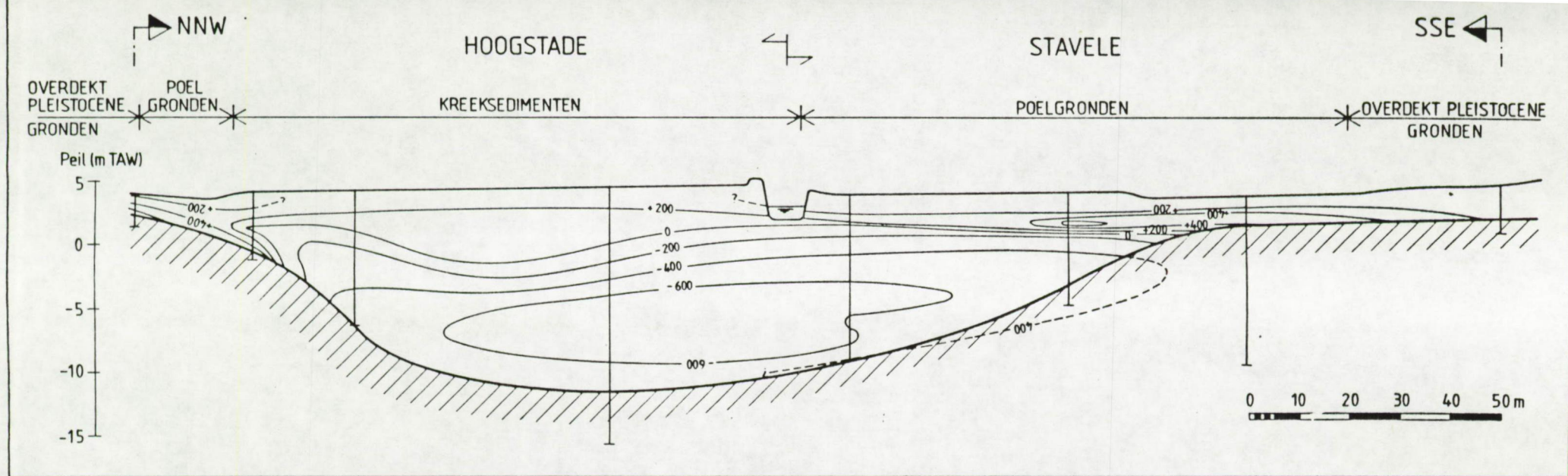


Plaat 5.27: Variatie van het Na^+ -gehalte in de IJzervallei te Elzendamme.

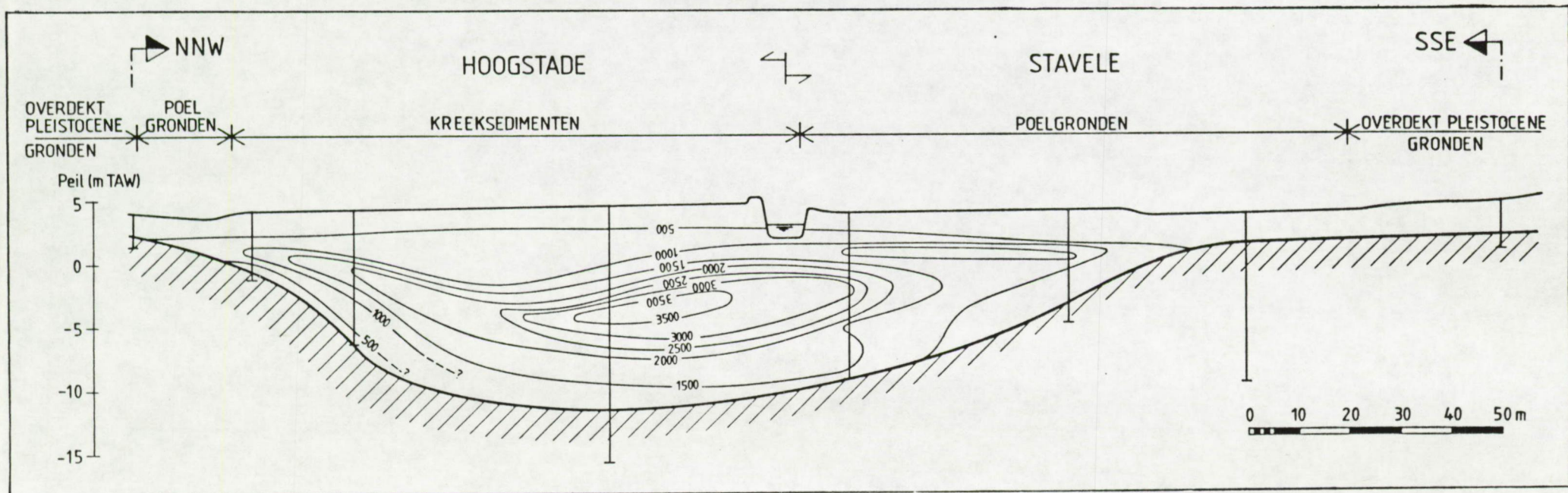


Plaat 5.28: Variatie van het K^+ -gehalte in de IJzervallei te Elzendamme.

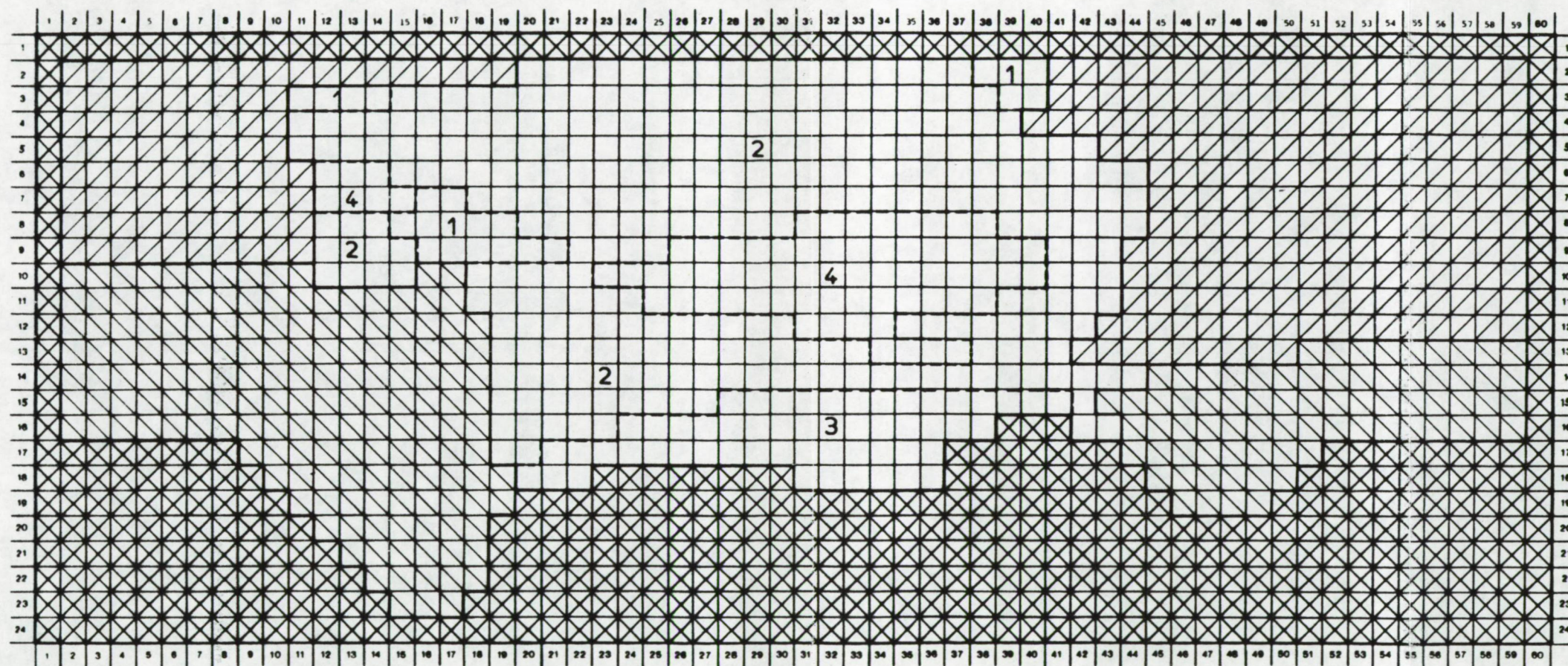





Plaat 5.31 : Variatie van het SO_4^* -gehalte in de IJzervallei te Elzendamme.




Plaat 5.32: Variatie van het HCO_3^- -gehalte in de IJzervallei te Elzendamme.




LEGENDA


 ondoorlatende cel


POELGRONDEN


 zone met konstante, geringe doorlatendheid


 zone met wisselende doorlatendheid (afhankelijk v/d simulatie klei of zand)

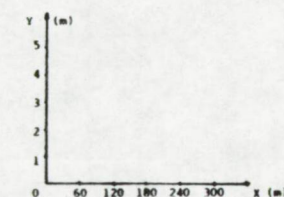
KREEKGRONDEN

 zone met $k_h = 2,5$ m/d

 zone met $k_h = 5,0$ m/d

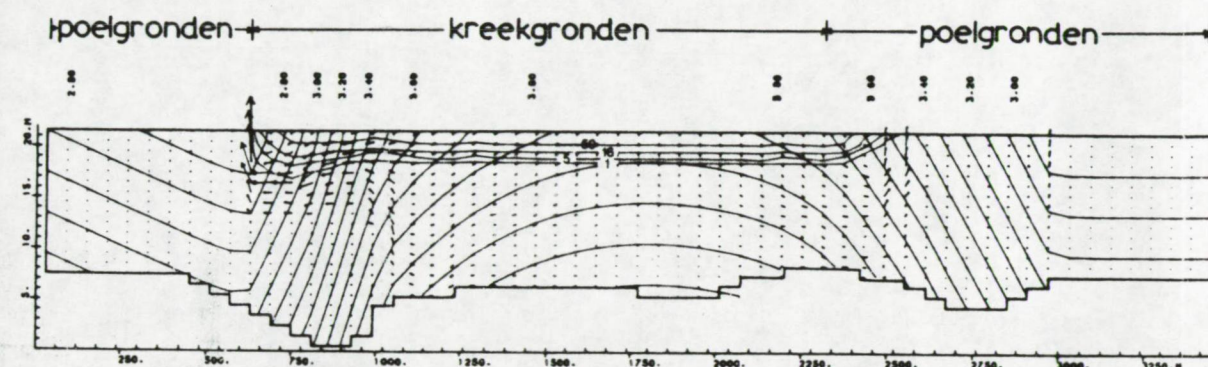
 zone met $k_h = 8,0$ m/d

 zone met $k_h = 12,5$ m/d

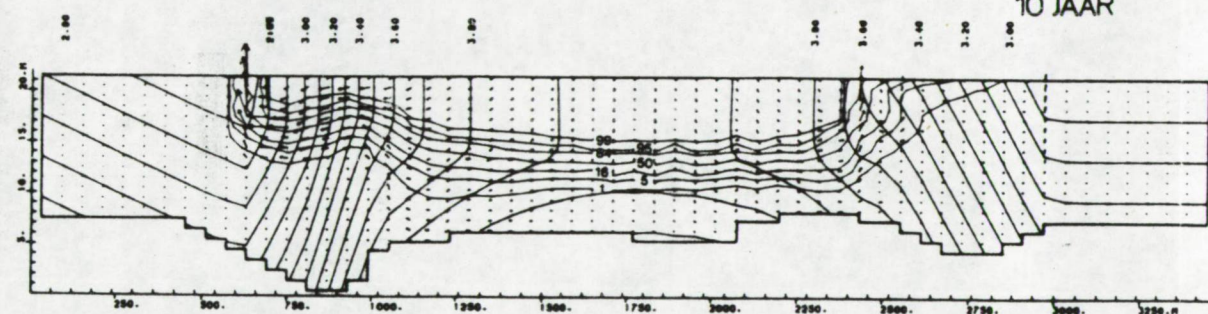


PLAAT 6.1. Rijen en kolommen in de simulatie doorsnede met diversificatie van de zones met poelgronden enerzijds en kreekgronden anderzijds en specificatie van de ingevoerde doorlatendheden.

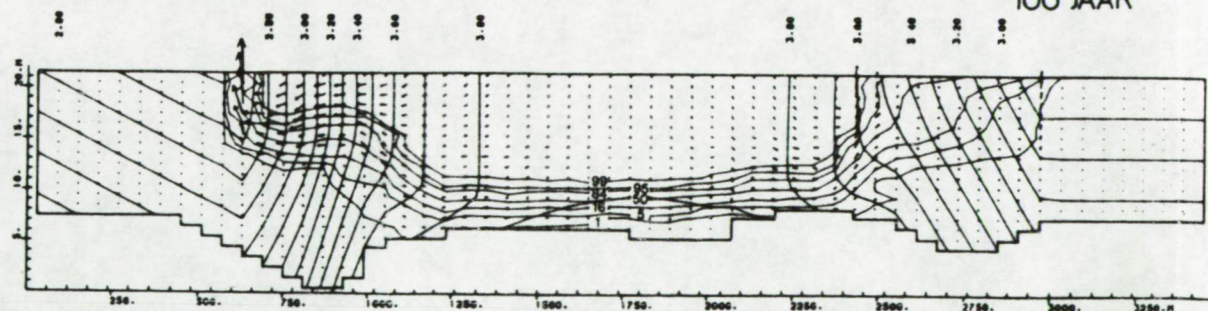
FASE 1



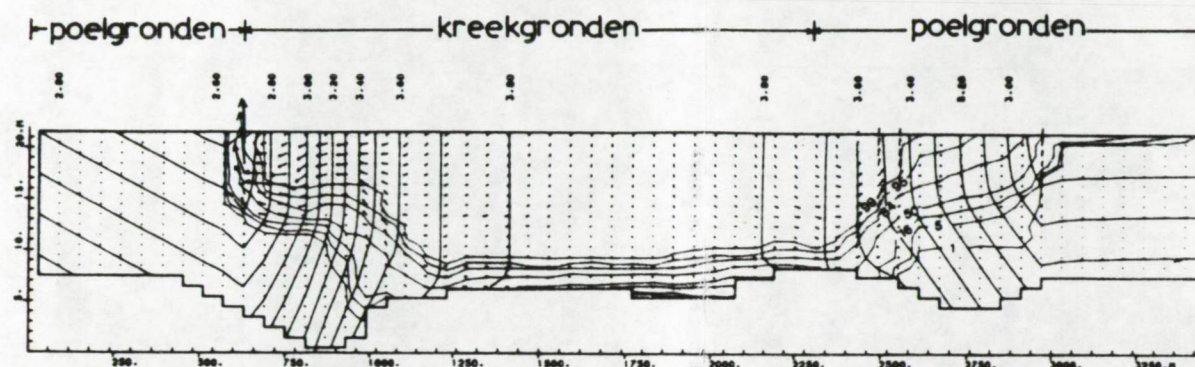
10 JAAR



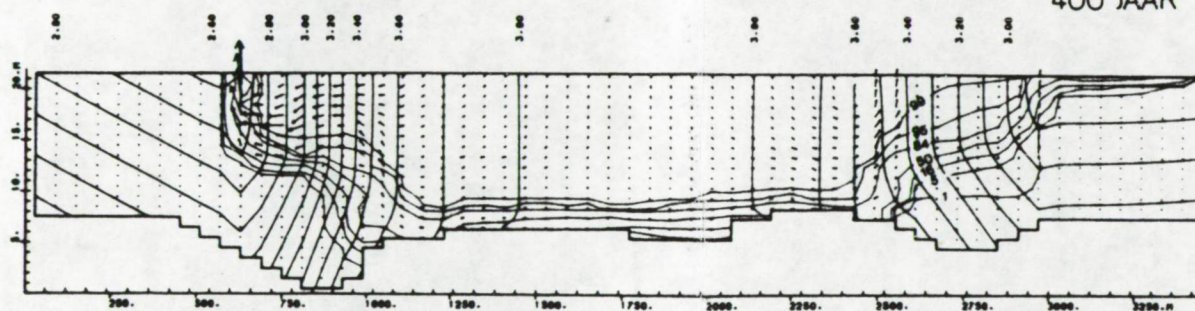
100 JAAR



200 JAAR



400 JAAR

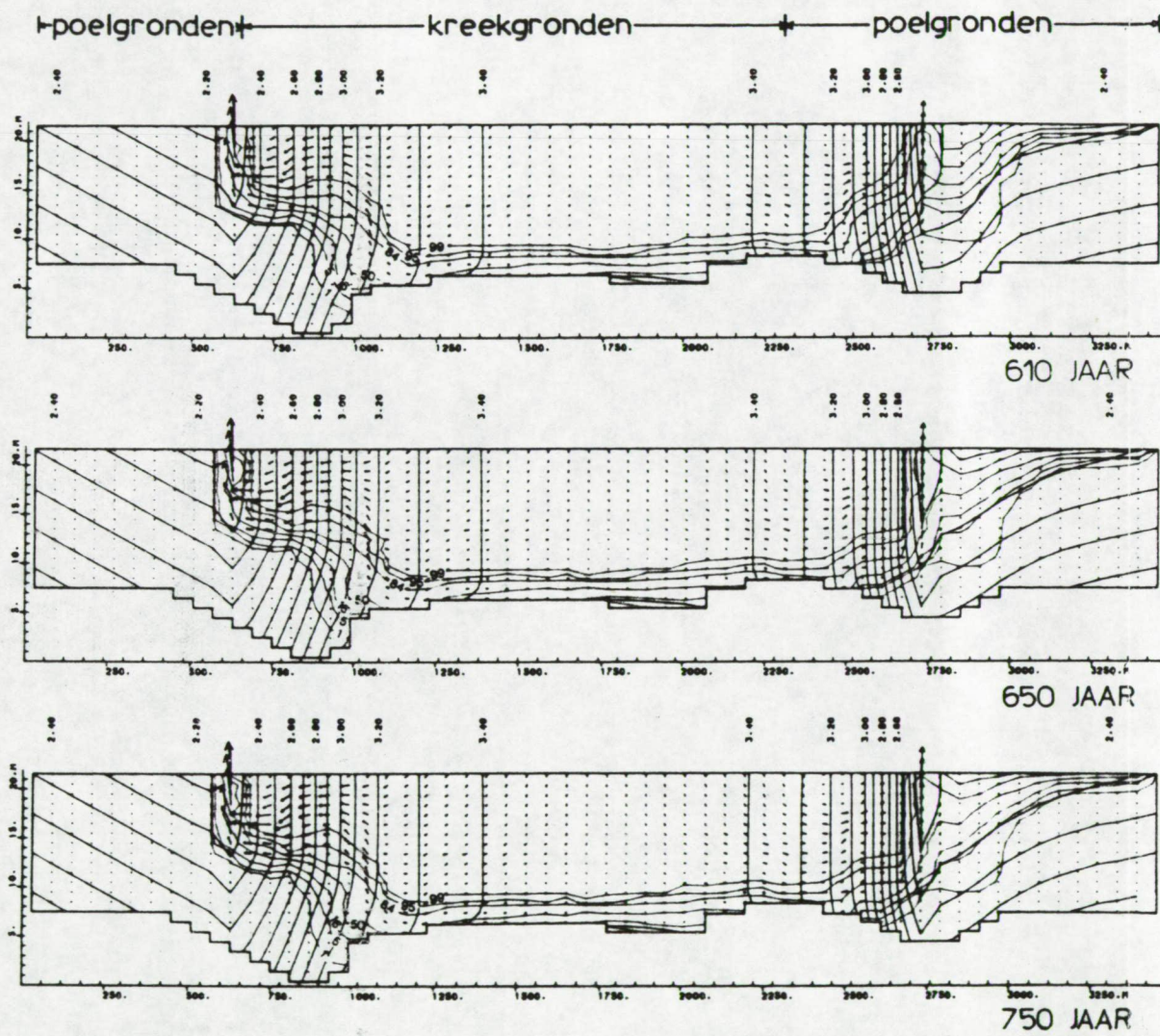


600 JAAR

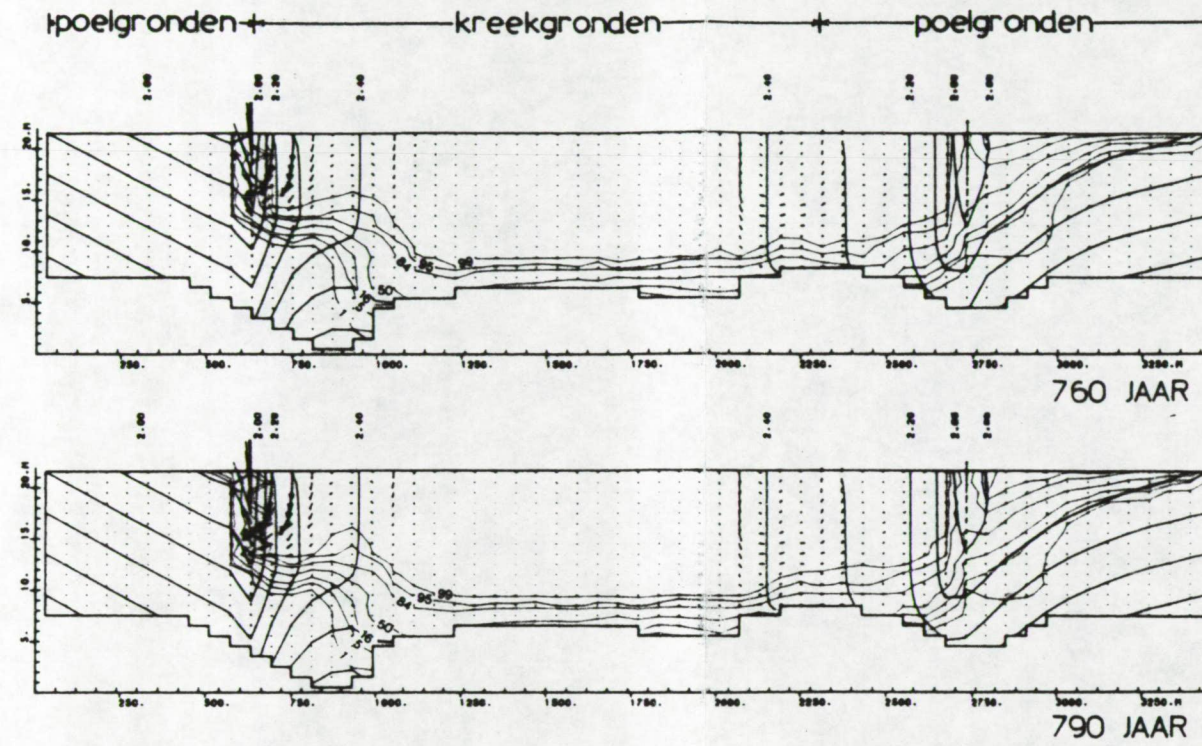
legende

- 10 — lijn van gelijk soutwaterpercentage (%)
- lijn van gelijke stijghoogte
- meetbuislocatie

FASE 2

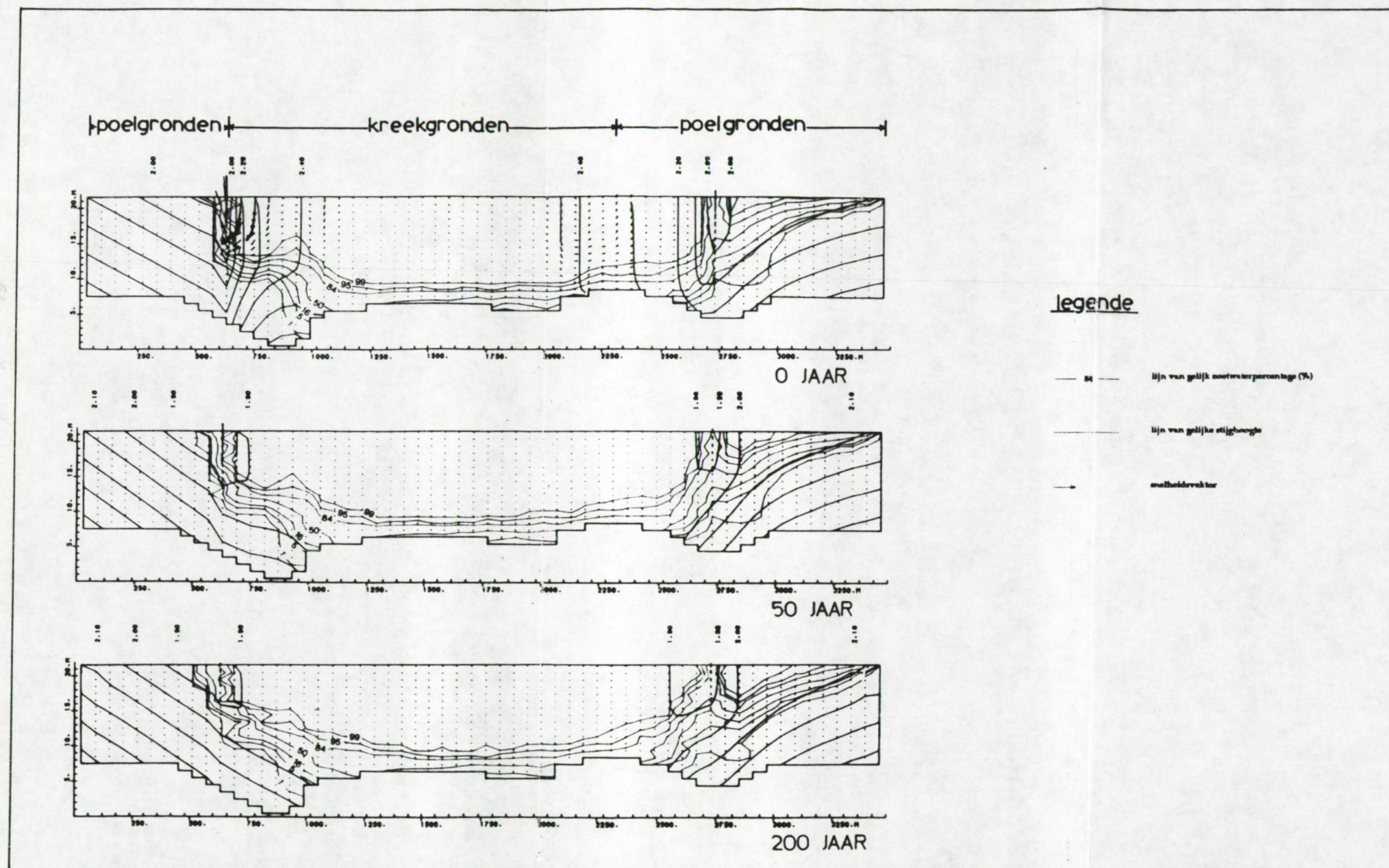


FASE 3

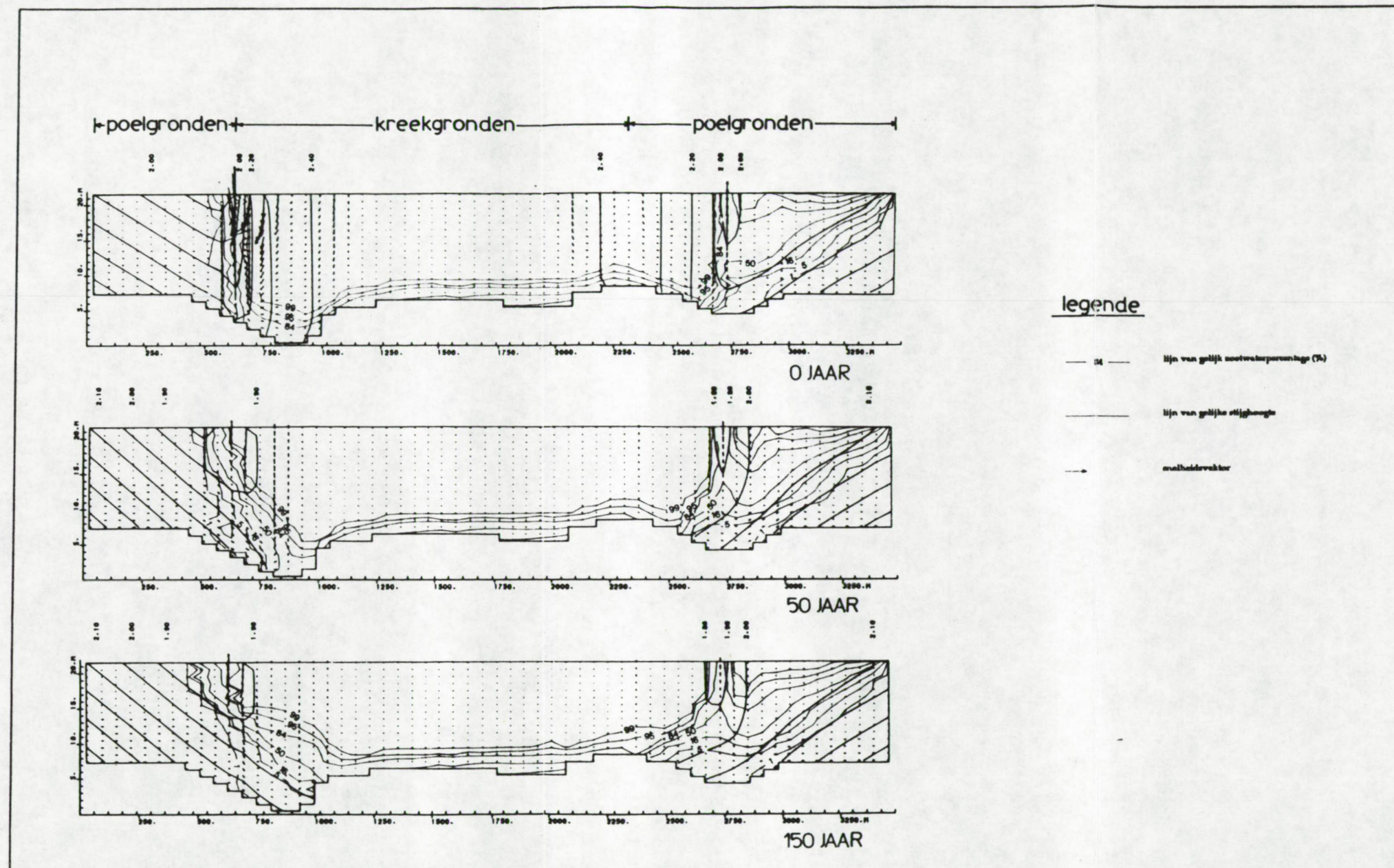


legende

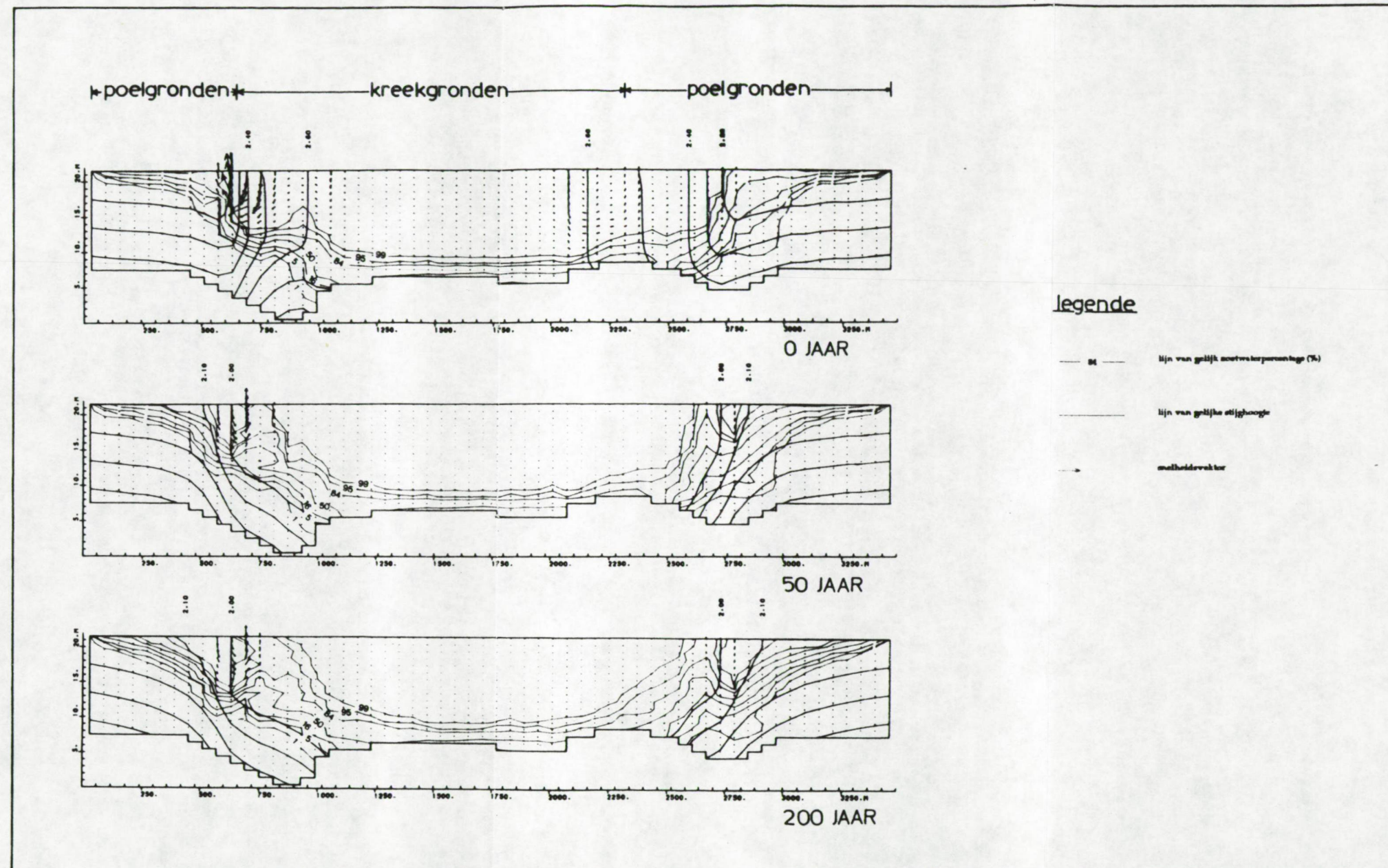
- 50 — lijn van gelijk zoutwaterpercentage (%)
- lijn van gelijke stijphoogte
- zoutwaterfront



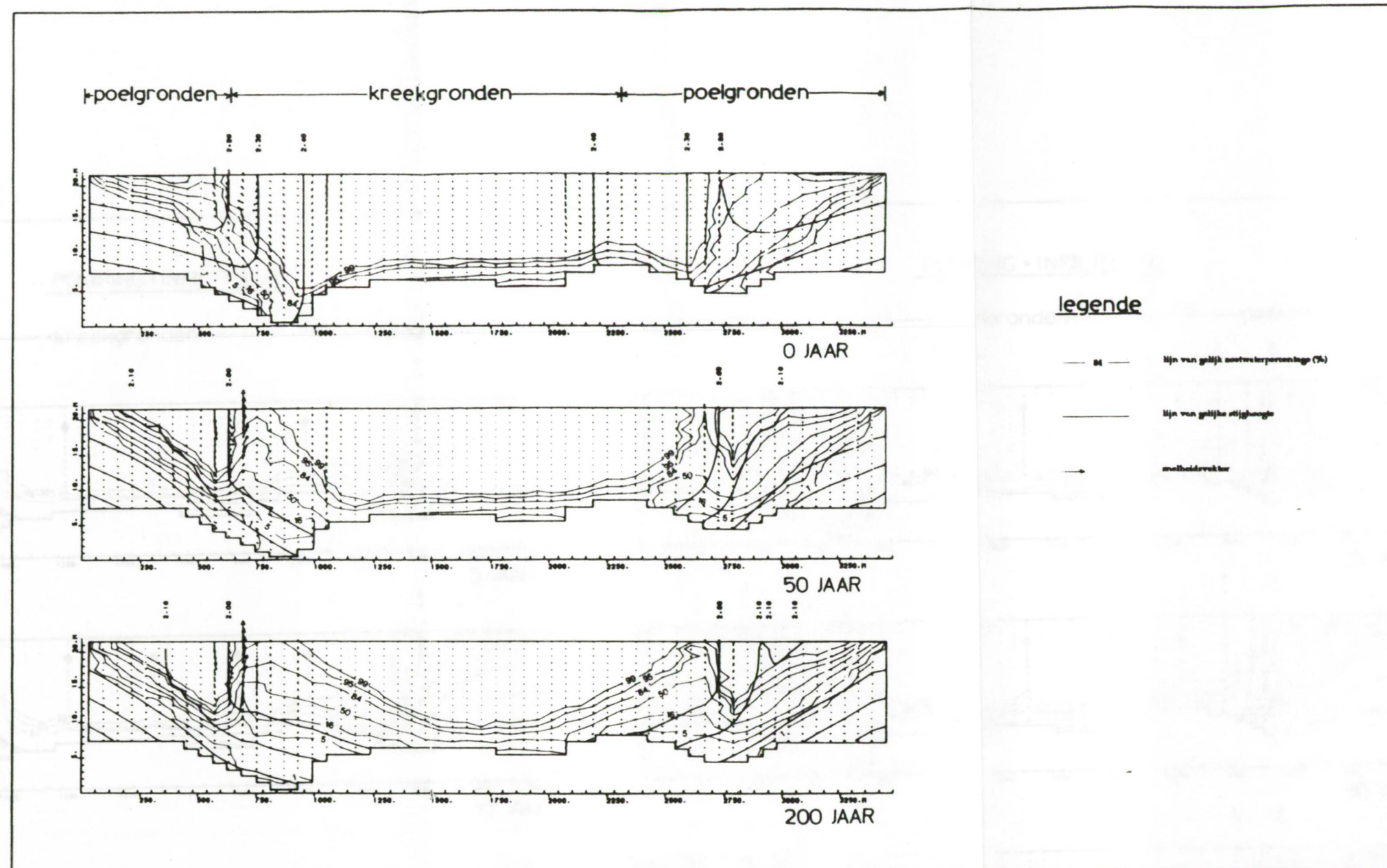
PLAAT 6.3. Invloed van een verlaging van het grondwaterpeil op de kwaliteitsverdeling.
Toestand met afwateringskanalen en weinig doorlatende poelgronden.



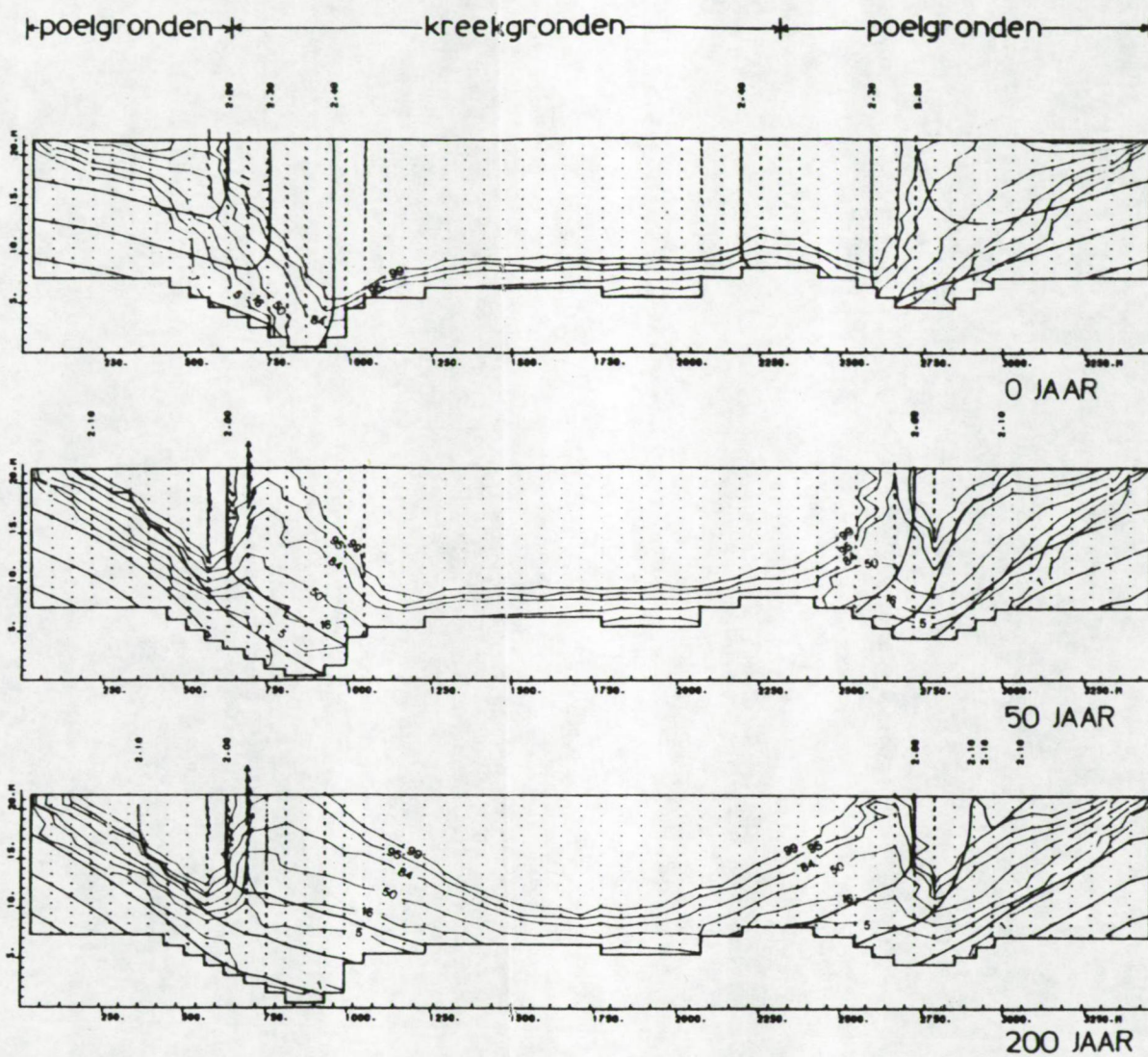
PLAAT 6.4. Invloed van een verlaging van het grondwaterpeil op de kwaliteitsverdeling.
Toestand met afwateringskanalen en doorlatende poelgronden.



PLAAT 6.5. Invloed van een verlaging van het grondwaterpeil op de kwaliteitsverdeling.
Toestand zonder afwateringskanalen en weinig doorlatende poelgronden.



PLAAT 6.6. Invloed van een verlaging van het grondwaterpeil op de kwaliteitsverdeling.
Toestand zonder afwateringskanalen en doorlatende poelgronden.

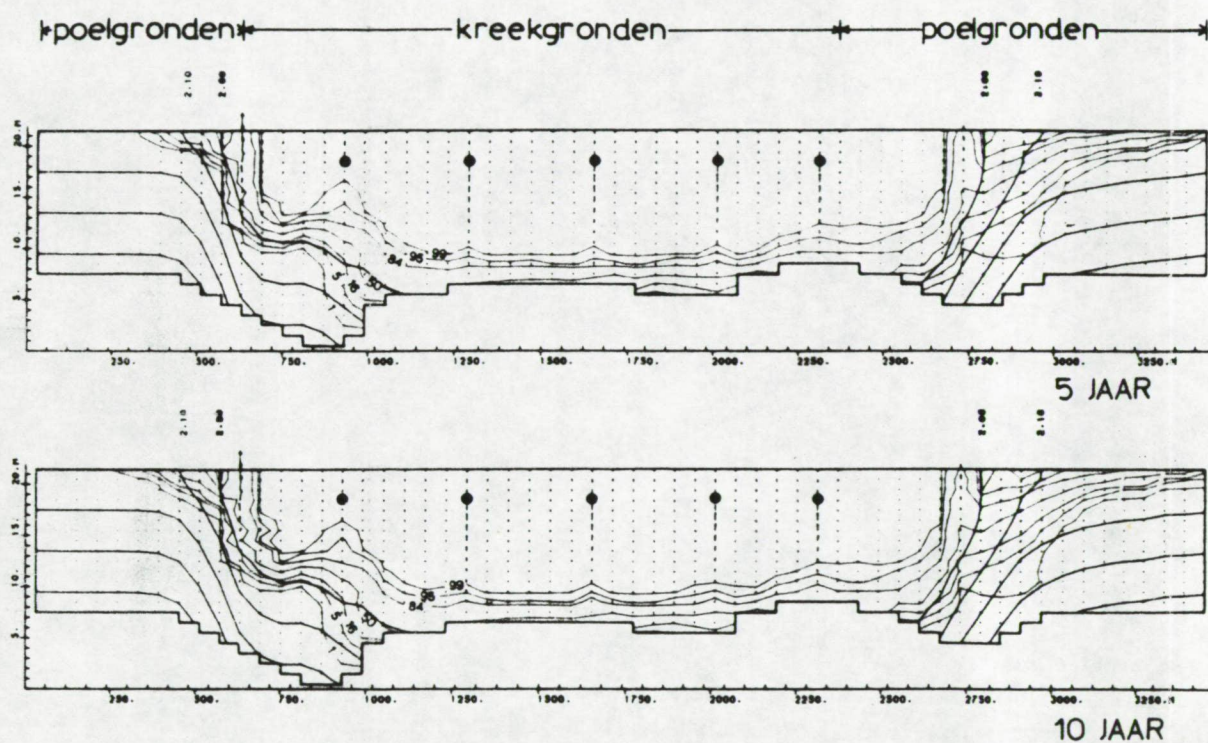


legende

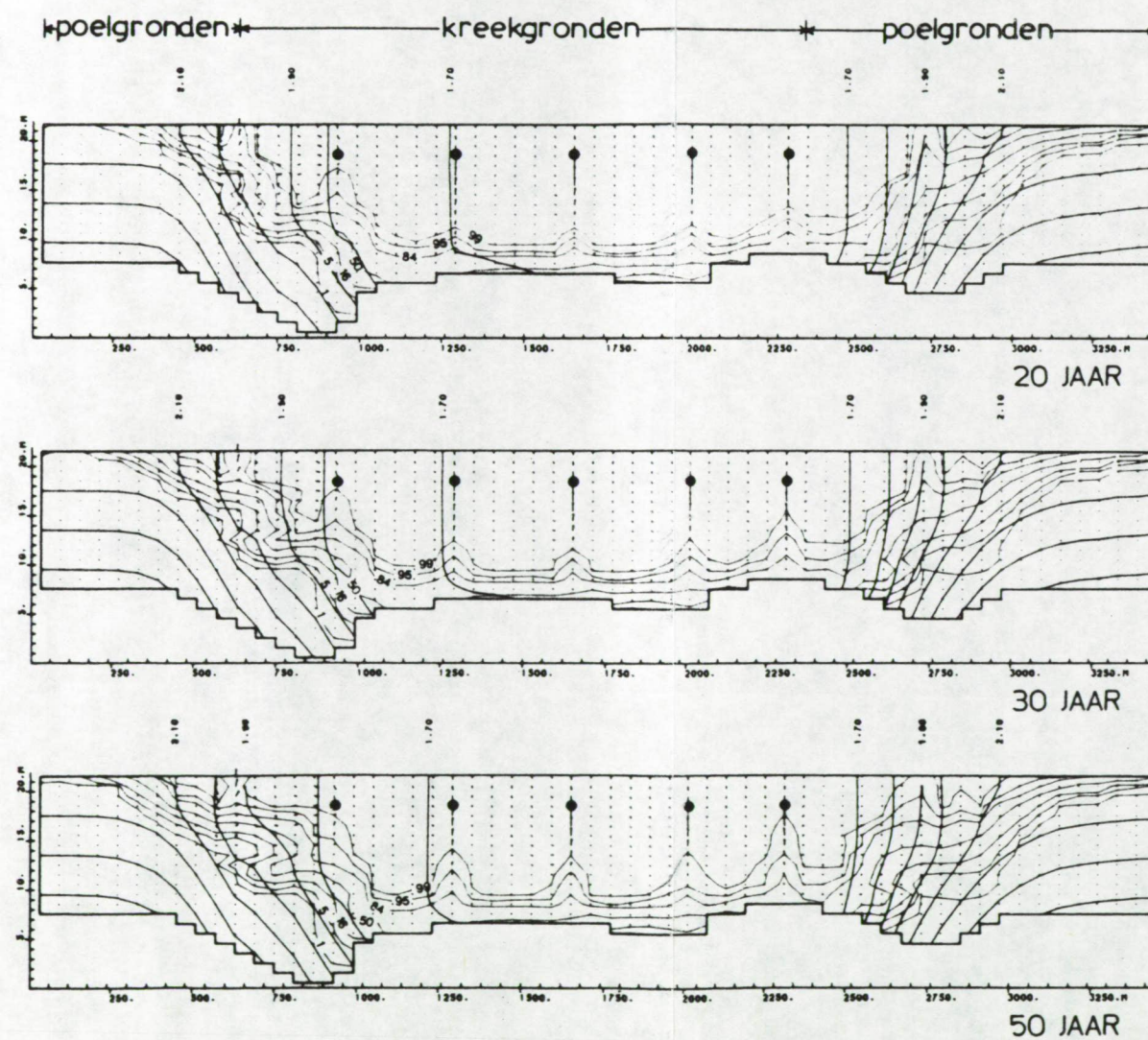
- 04 — lijn van gelijk zoutwaterpercentage (%)
- lijn van gelijk stijghoogte
- zoutwaterinval

PLAAT 6.6. Invloed van een verlaging van het grondwaterpeil op de kwaliteitsverdeling.
Toestand zonder afwateringskanalen en doorlatende poelgronden.

POMPING < INFILTRATIE



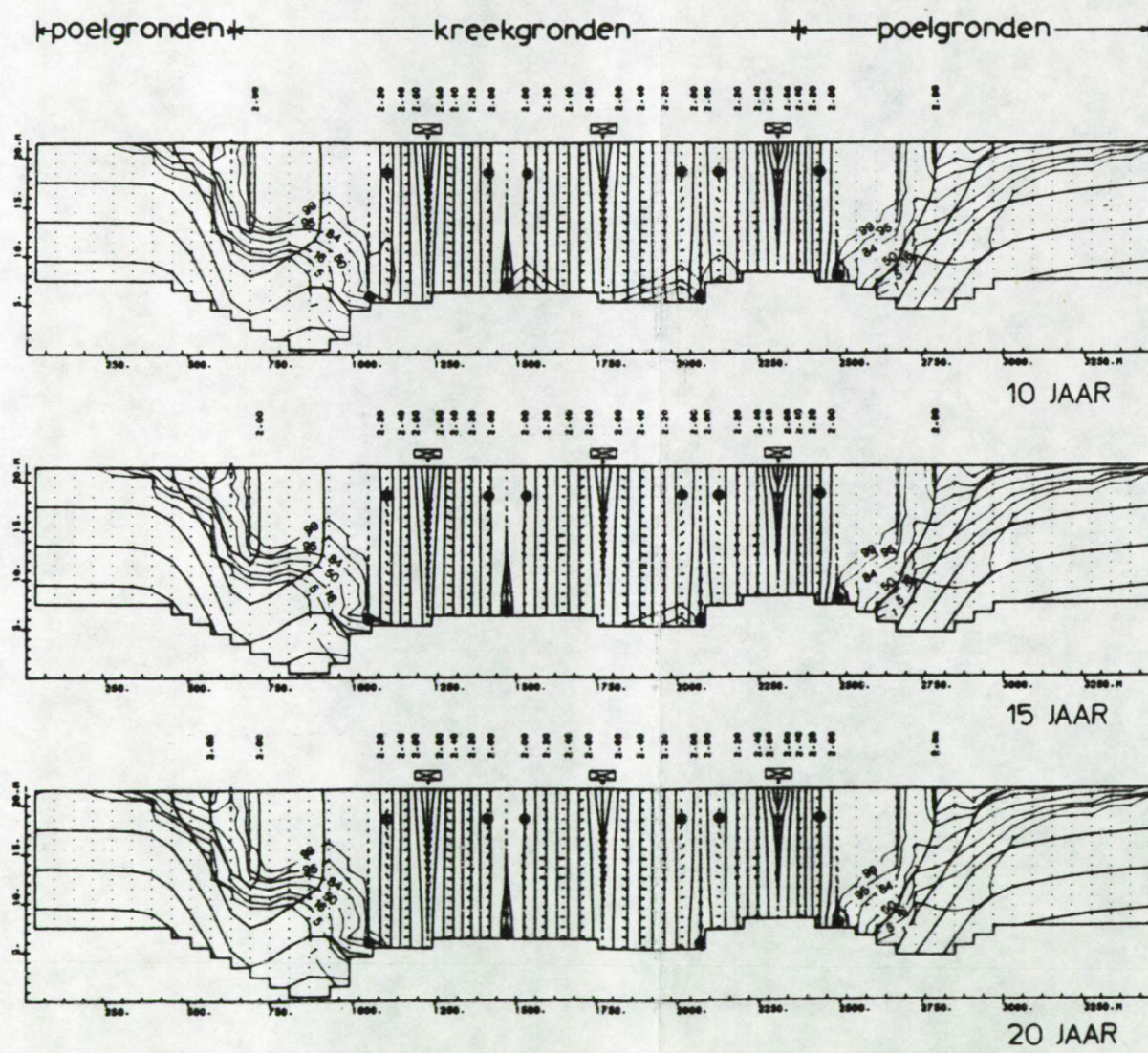
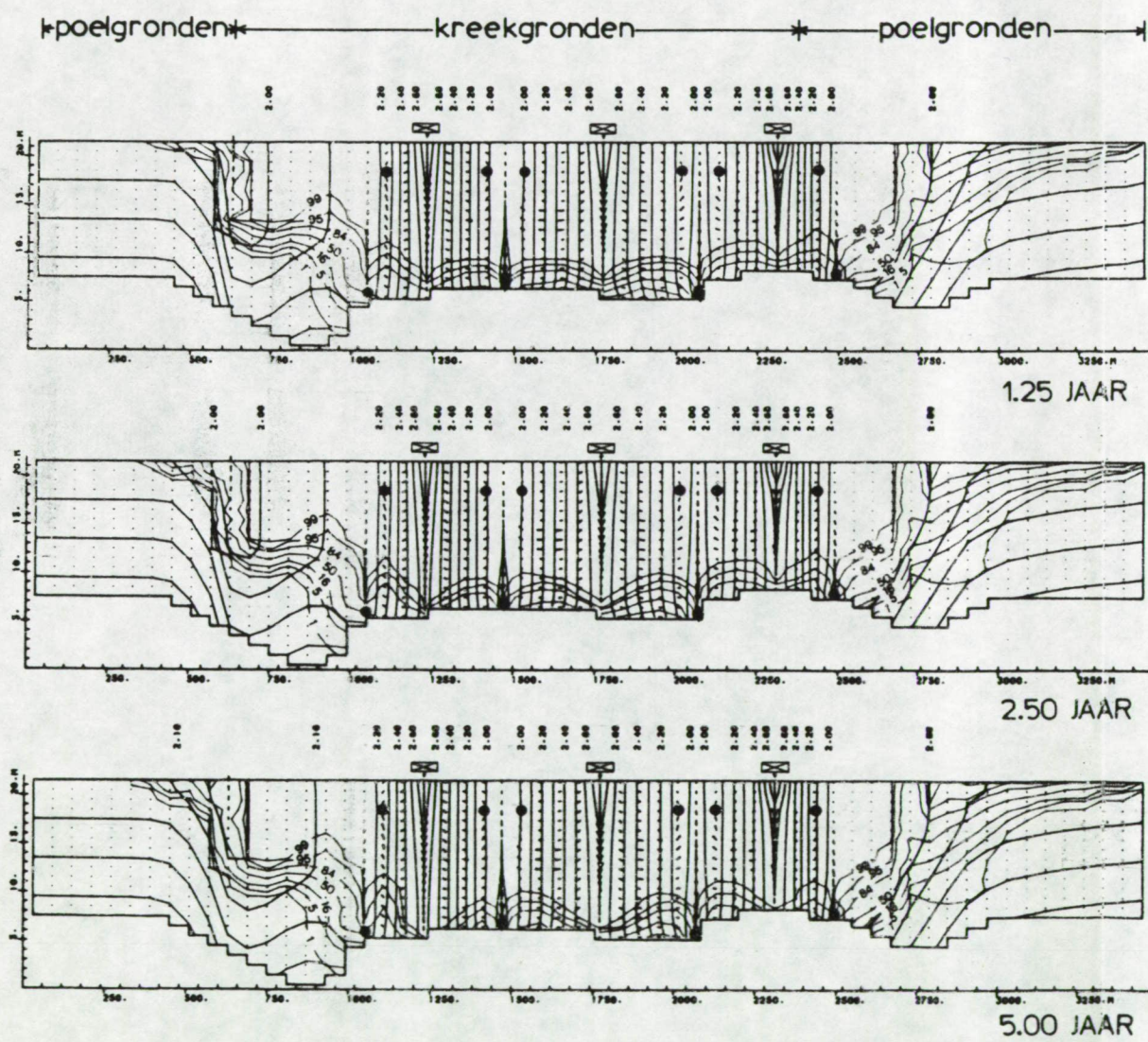
POMPING > INFILTRATIE



legende

- 84 — lijn van gelijk zoutwaterpercentage (%)
- lijn van gelijke stijghoogte
- meldeidrektor
- ⊠ infiltratiekanaal
- pompput

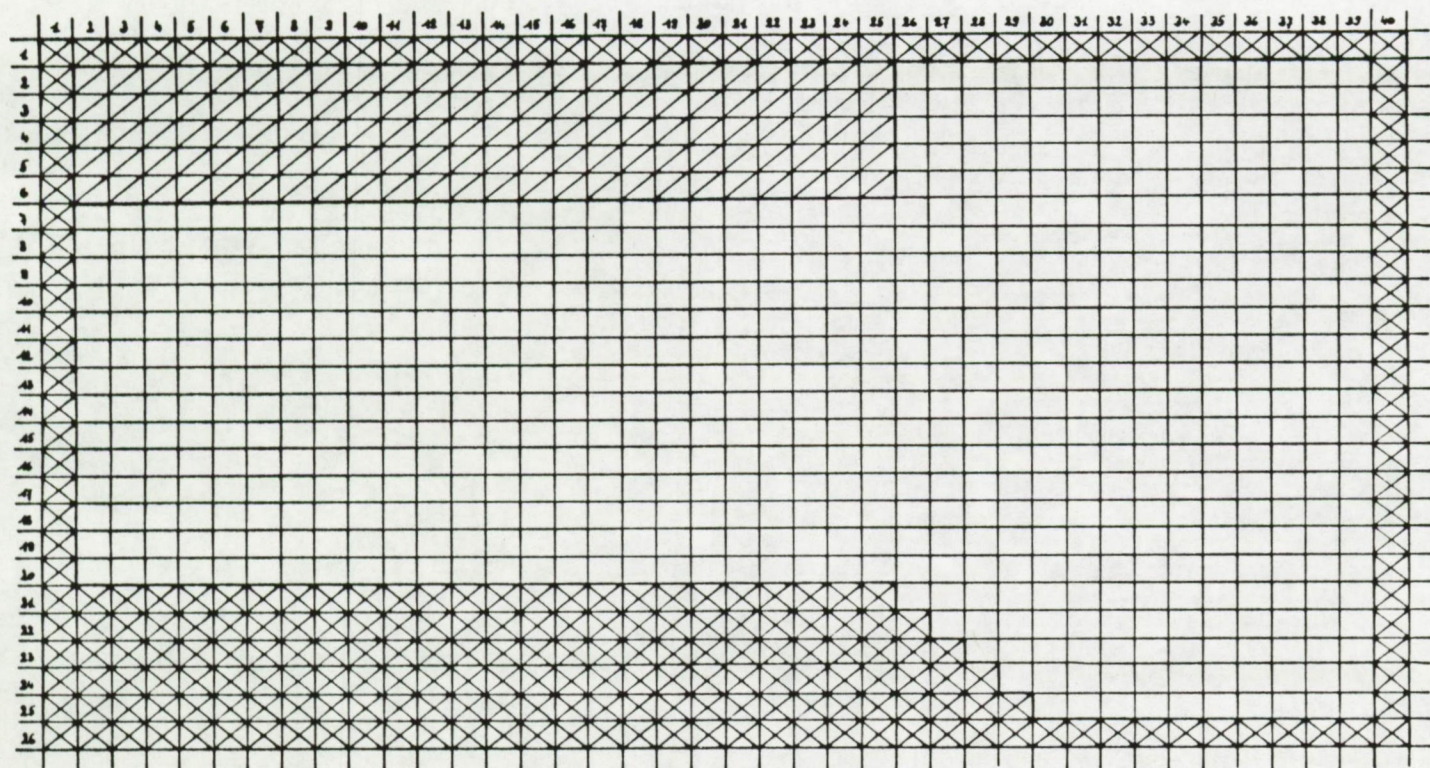
PLAAT 6.7. Invloed van de winning van zoet grondwater op de kwaliteitsverdeling in een kreekkrug, indien geen bijkomende maatregelen worden getroffen.



legende

- 84 — lijn van gelijk soutwaterpercentage (%)
- lijn van gelijk stijghoogte
- stelseldekking
- ⊗ infiltratiekanalen
- pompput

PLAAT 6.8. Winning van zoet grondwater in een kreekruig, na verwijdering van het zoute water aan de basis van de kreekbedimenten.



LEGENDE



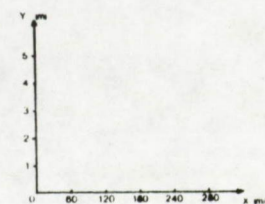
ondoorlatende cel



zone met geringe doorlatendheid - poelgronden

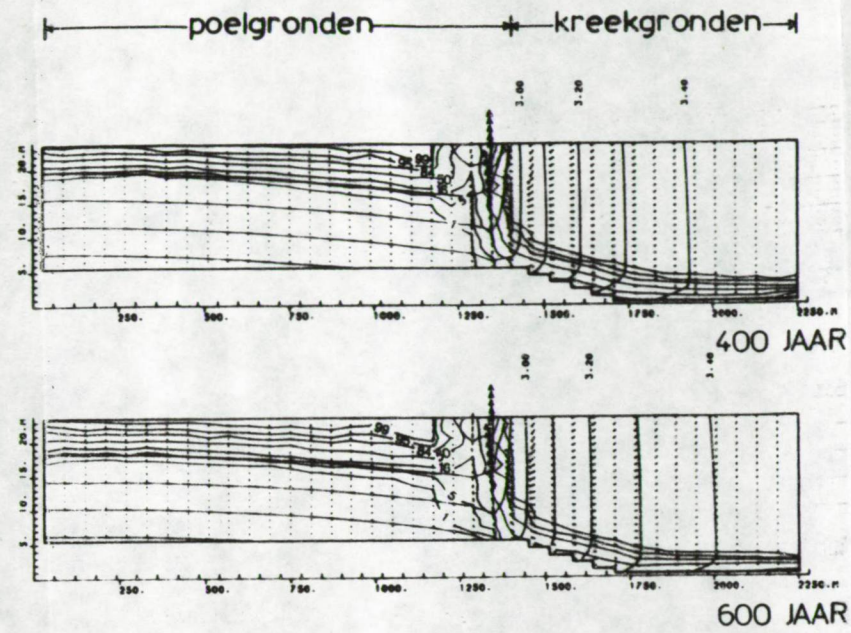
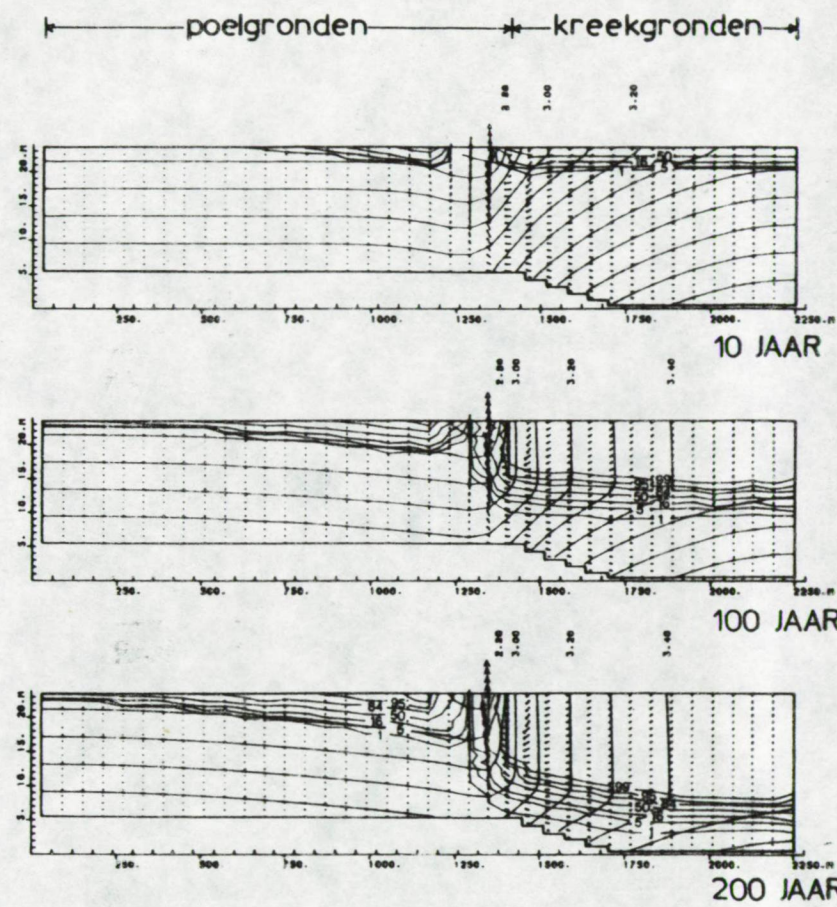


zone met grote doorlatendheid - kreekgronden



PLAAT 6.9. Rijen en kolommen in de simulatievoorname met diversificatie van de zones met poelgronden enerzijds en kreekgronden anderzijds en specificatie van de ingevoerde doorlatendheden.

FASE 1

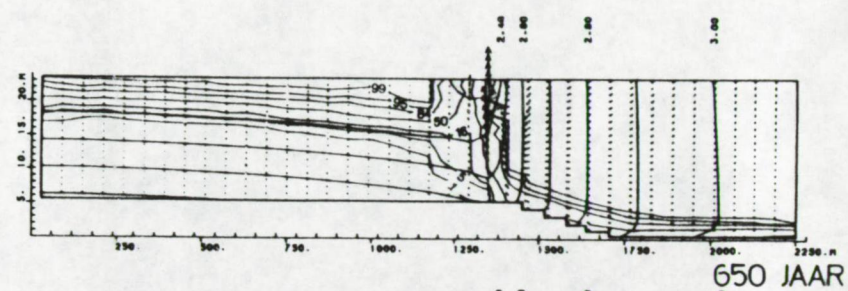


legende

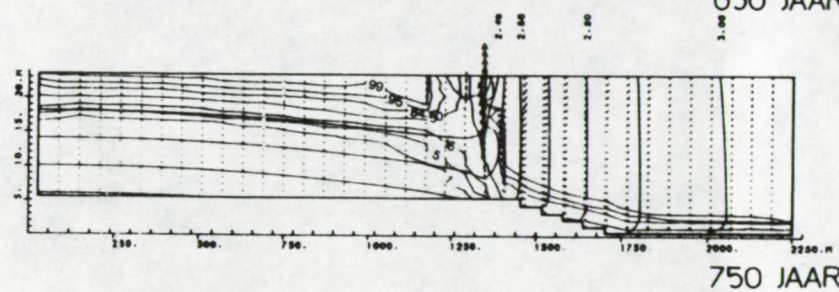
- 04 — lijn van gelijk zoutwaterpercentage (%)
- lijn van gelijk stijghoogte
- onthoudingsvector

FASE 2

poelgronden * kreekgronden



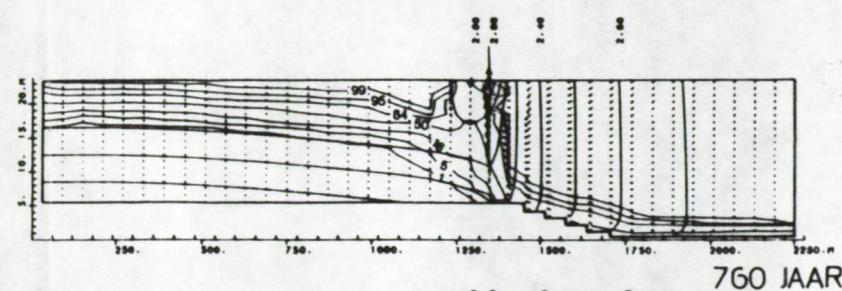
650 JAAR



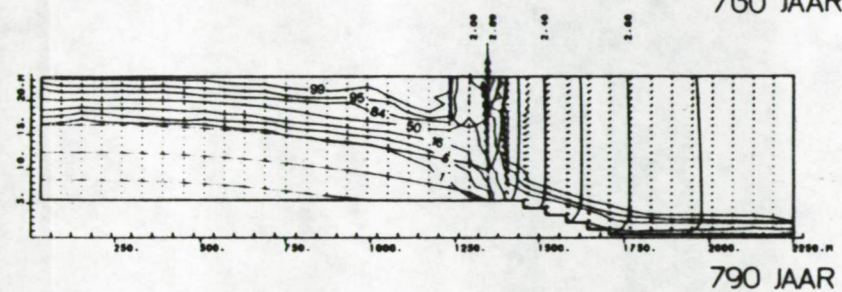
750 JAAR

FASE 3

poelgronden * kreekgronden



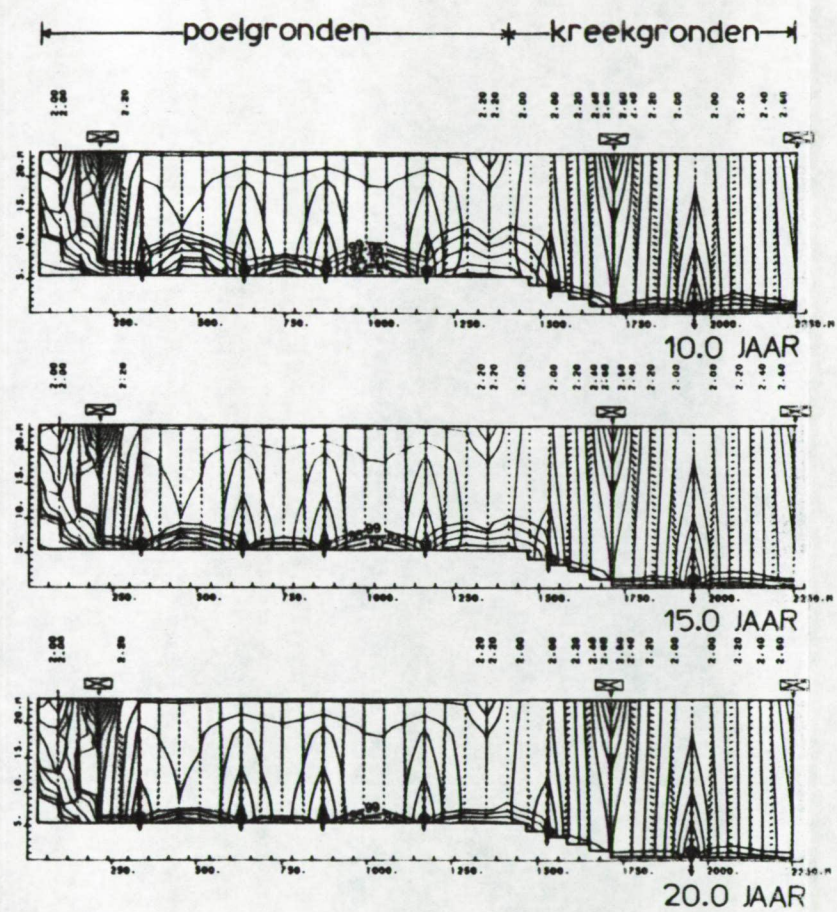
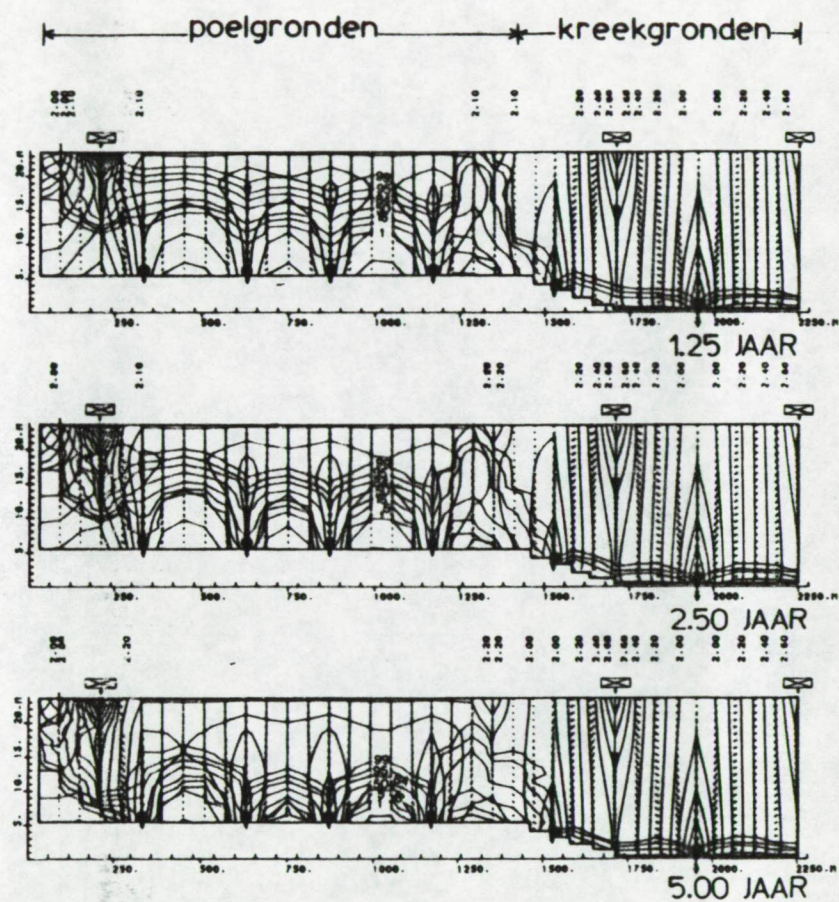
760 JAAR



790 JAAR

legende

- 04 — lijn van gelijk waterpeil (m)
- lijn van gelijke stijghoogte
- stroomrichting



legende

- 0.1 — lijn van gelijk zoutwaterpercentage (%)
- lijn van gelijk stijghoogte
- meetbuisdructor
- ⊠ infiltratiekanal
- pompput

PLAAT 6.11. Ninning van zoet grondwater onder de poelgronden na verwijdering van het zoute water aan de basis van het grondwaterreservoir.